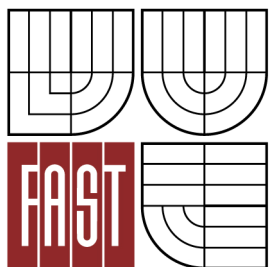




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

## FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU SVAHŮ FACTORS AFFECTING SLOPE STABILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KRISTÝNA SLOVÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ BOŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav geotechniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Kristýna Slováková
<b>Název</b>	Faktory ovlivňující stabilitu svahů
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Jiří Boštík, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....  
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Literatura:

- [1] Záruba, Q. Mencl, V.: Sesuvy a zabezpečování svahů, Academia, Praha, 1987, 340 s.
- [2] Šimek, J. Jesenák, J. Eichler, J. Vaníček, I.: Mechanika zemin, SNTL, Praha, 1990, 388 s.
- [3] Pašek, J. Matula, M. a kol.: Inženýrská geologie I., II., Česká matice technická, Praha, 1995.
- [4] Lee W. Abramson, Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce: Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [5] Duncan, J.M. Wright, S.G.: Soil Strength and Slope Stability, John Wiley & Sons, 2005.

## **Zásady pro vypracování**

Aktivity v rámci bakalářské práce (BP) jsou předpokládány ve dvou úrovních. První je rešerše zahrnující metody stanovení stability svahů, faktory ovlivňující stabilitu svahů a jejich zohlednění ve výpočtech apod. Druhou je provedení stabilitní analýzy svahu pomocí vybraných metod z první (rešeršní) části, ověření vlivu vybraných faktorů na stabilitu svahu, zhodnocení získaných výsledků apod.

Při vypracování BP vycházejte z pokynů vedoucího BP a relevantní odborné literatury.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
Ing. Jiří Boštík, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt**

Úkolem bakalářské práce s názvem „Faktory ovlivňující stabilitu svahů“ je rešerše zabývající se příčinami svahových pohybů, jejich klasifikací, přístupy k řešení stability svahů a možnými sanačními opatřeními. V rámci praktické části jsou tyto znalosti použity pro analýzu nestability svahu v Kyjově-Netčicích.

**Klíčová slova**

Svahové pohyby, faktory, stabilita svahu, stupeň stability, sanace.

**Abstract**

The main aim of this bachelor's thesis entitled „Factors Affecting Slope Stability“ is a summary of the causes of the slope movements. This thesis presents the classification of the landslides and it describes the methods for the solving the slope stability and it mentions the possibilities of the remediation. In the practical part, the gained knowledge and abilities are using for a solution of the landslide in Kyjov-Netčice.

**Keywords**

Slope movements, factors, slope stability, safety factor, remediation.

### **Bibliografická citace VŠKP**

Kristýna Slováková *Faktory ovlivňující stabilitu svahů*. Brno, 2016. 67 s., 32 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky.  
Vedoucí práce Ing. Jiří Boštík, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....  
podpis autora  
Kristýna Slováková

Na tomto místě bych ráda využila příležitost a poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Bošíkovi, Ph.D. za konstruktivní připomínky, poskytnutý materiál, věnovaný čas i trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat doc. Ing. Antonínovi Pasekovi, CSc. za půjčené materiály a doplňující informace k praktické části. Mé děkuji patří také Ing. Věře Glisníkové, CSc. za její rady, vstřícnost i motivující slova.

Kristýna Slováková

1	ÚVOD .....	3
2	SVAHOVÉ POHYBY .....	4
2.1	Dělení svahových pohybů .....	5
2.2	Klasifikace sesuvných pohybů dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) .....	9
3	PŘÍČINY SVAHOVÝCH POHYBŮ .....	14
3.1	Podmínky vývoje svahových pohybů .....	14
3.1.1	Geologické poměry .....	14
3.1.2	Geomorfologické poměry .....	16
3.1.3	Klimatické poměry .....	16
3.1.4	Hydrogeologické poměry .....	17
3.2	Faktory způsobující svahové pohyby (podle prof. Q. Záruby) .....	17
4	ZPŮSOBY ŘEŠENÍ STABILITY SVAHU .....	23
4.1	Smyková pevnost .....	24
4.2	Určení stability svahů použitím nomogramů .....	25
4.3	Metody mezní rovnováhy .....	28
4.3.1	Stabilita svahu – nesoudržné zeminy .....	30
4.3.2	Stabilita svahu – soudržné zeminy .....	33
4.3.2.1	Felleniova metoda .....	33
4.3.2.2	Pettersonova metoda .....	34
4.3.2.3	Zjednodušená Bishopova metoda .....	36
4.3.2.4	Sarmova metoda .....	37



4.4 Metody řešení napjatosti a deformace zemního tělesa .....	38
5 SANAČNÍ OPATŘENÍ.....	40
5.1 Úprava tvaru a sklonu svahu .....	40
5.2 Odvodnění svahu .....	41
5.3 Vegetační pokryv.....	42
5.4 Zpevňování zemin .....	43
5.5 Technická opatření.....	44
6 PRAKTICKÝ PŘÍKLAD .....	46
6.1 Geomorfologické zařazení.....	46
6.2 Geologické a hydrogeologické poměry.....	46
6.3 Parametry zemin .....	48
6.4 Příčiny pohybu svahu v Kyjově - Netčicích a sanační opatření .....	48
6.5 Stabilita svahu po sesuvu.....	50
6.6 Vliv změny sklonu svahu .....	51
6.7 Zřízení přítěžovací lavice.....	53
7 ZÁVĚR .....	56
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	57
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	60
10 SEZNAM PŘÍLOH .....	67

# 1 ÚVOD

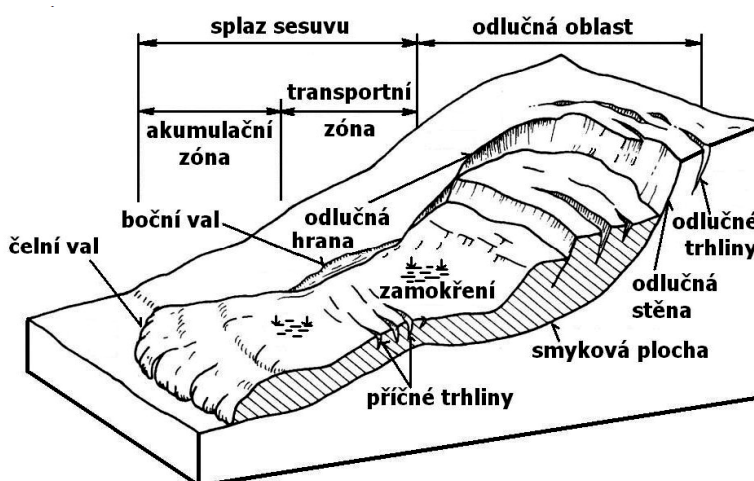
Cílem bakalářské práce s názvem „Faktory ovlivňující stabilitu svahů“ je řešerše zabývající se předpoklady a podmínkami porušení rovnovážného stavu ve svazích a vzniku svahových pohybů. Vliv jednotlivých faktorů je doprovázen konkrétními příklady poruch stability svahu. Dále práce popisuje základní třídění sesuvů, českou klasifikaci dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974), přístupy k řešení stability svahu a shrnuje možná sanační opatření. V poslední části práce jsou znalosti získané předchozí řešerší aplikovány na analýzu svahové poruchy v Kyjově – Netčicích. Výpočtem je ověřen úhel vnitřního tření zeminy. V programu GEO5 je stanoven stupeň bezpečnosti a hodnota využití pro sklon svahu po uklidnění svahového pohybu. Metodou mezní rovnováhy jsou v programu GEO5 nalezeny sklony svahů pro zadané stupně bezpečnosti. Následuje navržení dalšího možného způsobu sanace a jeho ověření v programu GEO5 prostřednictvím metody mezních stavů při použití návrhového přístupu DA3.

## 2 SVAHOVÉ POHYBY

Svahové pohyby řadíme mezi přírodní exogenní geodynamické procesy. Jsou reakcí na porušení stávající rovnováhy, kdy se zemina, či hornina dá do pohybu a přemístí se účinkem gravitace z vyšší polohy svahu do nižší, aby dosáhla nového rovnovážného stavu [1]. Protože postihují prakticky všechny svahy, řadíme je mezi technicky významné jevy, jímž by měla být věnována náležitá pozornost.

S ohledem na míru zastavění a zároveň snahu zachovat co nejvíce lesů a zemědělsky užitné půdy se studium sesuvných jevů stává důležité nejen z hlediska teoretického, ale i praktického. Výzkum příčin, charakteru a vývoje sesuvů umožňuje posoudit míru nebezpečí a najít správný způsob zabezpečení sesuvných území a využívat tak k zástavbě i pozemky, které byly dosud hodnoceny jako méně vhodné [1].

Sesuvné jevy vznikají za různých geologických podmínek a působením mnoha faktorů. Při jejich vývoji je často důležitá funkce času, kdy se některé faktory v průběhu působení mění, a každý sesuv se tak vyvíjí. Nejprve se uplatní podmínky, které zakládají sesuv, a objevují se první známky porušení rovnováhy, kdy vznikají trhliny v horní části svahu. Následuje vlastní pohyb uvolněných hmot, jejich sunutí a postupné ukládání při úpatí svahu. Akumulací sesutých hmot při úpatí svahu si příroda sama vytváří dočasnou rovnováhu. Základní části sesuvu takto vzniklého jsou vyobrazeny na obr.2-1 [1].



Obr.2-1 Základní morfologické prvky sesuvu proudového tvaru [2].

## 2.1 Dělení svahových pohybů

Různorodost svahových pohybů vedla k vytvoření několika klasifikací dle odlišných kritérií jako průběhu smykových ploch, stáří a stadia vývoje sesuvu, rychlosti pohybu apod. Z autorů, jenž se zabývali klasifikací sesuvných jevů jmenujme: Heima (1882), Hova (1909), Almagia (1910), Ladda (1935), Emeljanova (1953), Terzaghiho (1925), Sharpea (1938), Varnese (1958) [1] z českých uveďme: Mencil – Záruba (1969), Nemčok – Pašek – Rybář (1974). Dle doporučení I. V. Popova (1951) by se při klasifikaci sesuvných pohybů mělo přihlídnout k regionálním poměrům, protože vzhledem k rozmanitosti faktorů mají jednotlivé typy sesouvání v různých krajinách odlišný ráz. Regionální zařazení sesuvů dovoluje charakterizovat pohyby přesněji a dává lepší podklad pro návrh zabezpečení ohrožených území [1].

Z **hlediska vývoje** se svahový pohyb může nacházet v počátečním, pokročilém nebo závěrečném stadiu.

Dle **stáří** rozdělujeme sesuvné pohyby na současné (recentní) a staré, přičemž ty, které se ve stávajících morfologických a klimatických podmínkách nemohou realizovat, nazýváme fosilní. Jsou-li tyto sesuvy překryty mladými uloženinami, například došlo-li k jejich zavátí sprašovými hlínami, označujeme je za sesuvy pohřbené.

Na základě **stupně stabilizace** rozlišujeme svahové pohyby aktivní (živé), dočasně uklidněné (potenciální) a trvale uklidněné (stabilizované).

U **aktivních sesuvů** příčiny vzniku stále trvají, a proto jsou buď v pohybu, nebo se může jejich pohyb kdykoliv obnovit. Jejich tvary jsou čerstvé, výrazné, dosud neporušené dešťovým ronem a erozí. Stromy jsou různě vychýlené z původní polohy, cesty, meze a stromořadí vedoucí přes sesuvné území jsou přerušené, stavení deformovaná i pobořená [1].

Na obr.2-2 je zachycena aktivním sesuvem zasažená cyklostezka u jezera Milada. Oblast jezera Milada je rekultivované území po hnědouhelné těžbě. Svahové pohyby v nepevných navážkách byly aktivovány po přívalových deštích v letech 2010-2011 [3].



Obr.2-2 Aktivní sesuv - cyklostezka u jezera Milada [3].

Naopak stopy posledních pohybů u *dočasně uklidněných sesuvů* bývají málo znatelné, neboť jsou často zarostlé či porušené erozí. Příčiny vzniku dosud trvají a pohyb se může obnovit [1].

Příkladem uklidněného svahového pohybu je plošný sesuv v Brně - Líšni (obr.2-3). Povrch svahu, jenž je tvořen neogenními jíly, prachovitými jíly a podřadně písky, je dnes mírně zvlněný a v horní části se nachází mokřina. Faktorem, jenž by mohl obnovit pohyb, by byly především nadměrné srážky a nasycení svahu vodou [4].



Obr.2-3 Dočasně uklidněný sesuv v Brně – Líšni, vlevo pohled na odlučnou hranu sesuvu, vpravo povrch sesuvu [4].

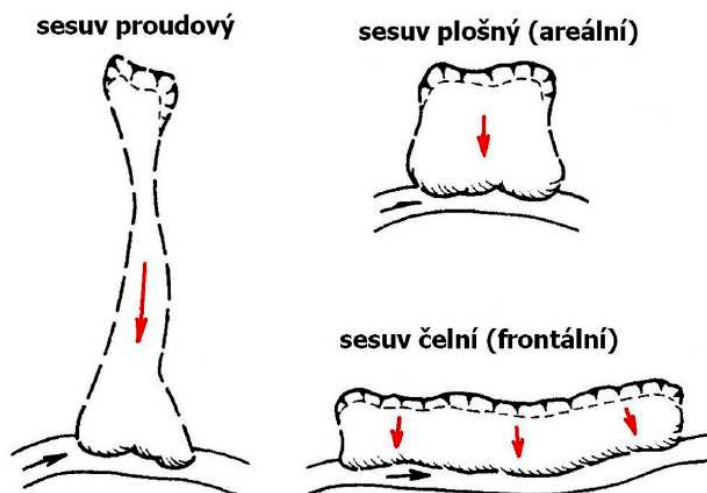
*Trvale uklidněné sesuvy* vznikly za podmínek, jenž se už nemůžou opakovat. Například, dojde-li k přeložení nárazového břehu koryta řeky, ustane podemílání svahu a sesuv se uklidní [1].

Příkladem uklidněného sesuvu je proudový sesuv v obci Habří (katastr Řehlovice) starý řádově tisíce let, kdy sesouvání pravděpodobně postihlo část uhelné sloje. Odlučná oblast je nyní zastavěna domy (obr.2-4) a akumulace pozměněna zemědělskou činností [5].



Obr.2-4 Uklidněný sesuv v obci Habří, pohled na starou odlučnou oblast sesuvu, nyní zastavěna domy [5].

Dále můžeme dělit sesuvy s ohledem na jejich **půdorysný tvar** na sesuvy plošné (areální), proudové a čelní (frontální) (viz obr.2-5).



Obr.2-5 Dělení sesuvů dle půdorysného tvaru [2].



Příkladem *plošného sesuvu* (obr.2-6) je sesuv spraší a sprašových hlín, způsobený extrémním jarním táním v březnu 2006, o rozměrech přibližně 15x15 m v obci Svárov u Uherského Hradiště [6].



Obr.2-6 Sesuv Svárov - jih (foto: J. Vít, duben 2006) [6].

Ukázkou *proudového sesuvu* je zemní proud o délce 105 m v místní části Vsetína zvané Za díly na obr.2-7, který vznikl v navážkách při jejich zvodnění z přítoku vody z horní části svahu. Hmota zemního proudu byla tvořena hlinitokamenitým materiálem, úlomky dřeva, betonu a cihel [6].



Obr.2-7 Zemní proud ve Vsetíně - silně zvodnělá spodní část (foto: K. Kirchner, duben 2006) [6].

Na obr.2-8 je zachycen příklad *frontálního sesuvu* hlinito-písčitých zemin s drobnými úlomky silně zvětralých jílovců v Boršicích u Blatnice, který vznikl při zimním tání v únoru 2006 [6].



Obr.2-8 Boršice u Blatnice, celkový pohled na sesuv (foto: J. Vít, duben 2006) [6].

***Průběh smykových ploch*** je určující pro dělení dle F.P.Savarenského, jenž dělí sesuvy na asekventní, konsekvntní a insekventní. Asekventní sesuvy vznikají ve stejnorodých soudržných zeminách, kde k pohybu dochází po válcových smykových plochách. Konsekvntní pohyby vznikají po plochách vrstevnatosti či jiných predisponovaných plochách ukloněných po svahu (plochy břidličnatosti, pukliny). U insekventních sesuvů zasahují smykové plochy hluboko do svahu a probíhají tak napříč vrstvami a zpravidla dosahují velkých rozměrů [1].

## 2.2 Klasifikace sesuvných pohybů dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974)






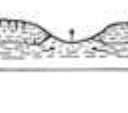

Svahové pohyby rozděluje dle mechanismu a rychlosti pohybu do čtyř skupin:

- ***Ploužení*** (viz tab.2-1 a tab.2-2), vypadající jako pomalé tečení tuhé látky, je dlouhodobý a ve většině případů konstantní tedy nezrychlující se pohyb horninových hmot. Mezi pohybující se hmotou a jejím podloží je málo zřetelné rozhraní [2].

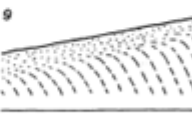


Ukázkou svahového pohybu typu ploužení jsou kerné pohyby při ústí řeky Ilmy v oblasti Bratského vodního díla na obr.3-1.

Tab.2-1 Klasifikace dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) – podpovrchové ploužení [7].

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika		výsledné svahové deformace
podpovrchové (hlubinné) ploužení	rozvolňování svahů	rozvolňování skalního svahu vznikem puklin lemujících tvary svahu a dna erozního údolí		rozvolnění svahu roztřásání horských masivů zdvojené hřbety
		rozvolňování svahu otevíráním tahových trhlin v jeho horní části		
		deformace vysokých horských svahů provázené roztřásáním horských hřbetů a stupňovitými poklesy svahů		
	gravitační vrásnění	shmování vrstev podél okrajů pánví		gravitační vrásy shnutí údolní antiklinály bulging naduřování vrstev pod dnem údolí
		vytlačování měkkých hlin ve dně údolí		
	blokové pohyby	blokové pohyby po plastickém podloží		bloková pole cambering rozsedliny bloková pole posuvy
		blokové pohyby podél předurčené plochy		

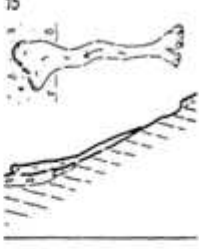
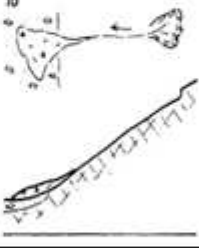
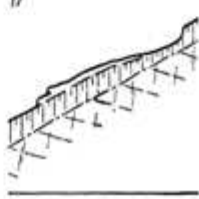
Tab.2-2 Klasifikace dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) – povrchové ploužení [7].

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika		výsledné svahové deformace
	povrchové ploužení			slézání suti a slézání svahových hlin povrchové ohýbání vrstev plošná soliflukce kamenné ledovce

- **Stékání** (viz tab.2-3) charakterizuje, na rozdíl od ploužení, rychlý krátkodobý pohyb horniny ve viskózním stavu, kdy podstatná část hmot vyteče z odlučné jámy a přemístí se po povrchu terénu na velkou vzdálenost a vytvoří tak „proud“. Stékající hmoty jsou ostře odděleny od neporušeného podloží [2].

Příkladem stékání je zemní proud v chatové kolonii ve Vsetíně uveden v předcházející kapitole na obr.2-7.


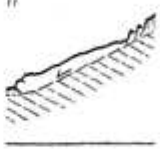
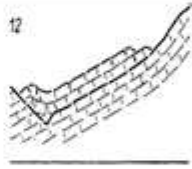
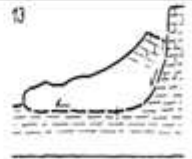
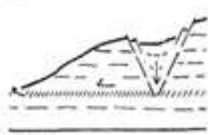
Tab.2-3 Klasifikace dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) – stékání [7].

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika		výsledné svahové deformace
stékání	stékání svahových uloženin	stékání jílovitých a hlinitopísčitých zemin	15 	zemní proudy bahnnité proudy zemní proudy v citlivých jílech soliflukční proudy
		stékání hlinitých a úlomkovitých zemin působením přivalových vod	16 	kamenité (balvanité) přivalové proudy hlinitokamenité přivalové proudy hlinité a bahnnité přivalové proudy mury
		stékání povrchových partií pokryvných útvarů v období tání nebo po nadměrných srážkách	17 	anglicky „flowage“ rusky „oplyviny“

- **Sesouvání** (viz tab.2-4) představuje rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch, přičemž se část hmot nasune na původní terén v předpolí. Konečnou formou pohybu je „sesuv“ [2].

Ukázkou sesouvání je sesuv v obci Svárov na obr.2-6.

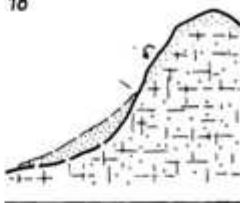

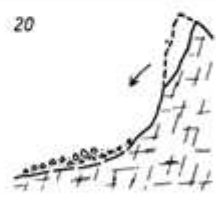
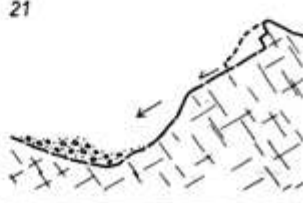
Tab.2-4 Klasifikace dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) – sesouvání [7].

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika		výsledné svahové deformace
sesouvání	sesouvání zemin podél rotační smykové plochy		10 	rotační sesuvy sesuvy podél rotační smykové plochy
	sesouvání podél rovinné smykové plochy	sesouvání zemin podél rovinné smykové plochy	11 	planární sesuvy sesuvy podle rovinné plochy sesuvy podle předurčené (predisponované) plochy
		sesouvání skalních hromin podél rovinné smykové plochy	12 	planární sesuvy ve skalních hrominách sjiždění po předurčené ploše skalní sjiždění sjiždění
	sesouvání podél složené smykové plochy	sesouvání podél složené, zakřivené a rovinné, smykové plochy	13 	rotační planární sesuvy sesuvy podél složené smykové plochy
		sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše	14 	laterální sesuvy

• **Řícením** (viz tab.2-5) nazýváme krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, při kterém se uplatňuje volný pád i ostatní druhy pohybu. Zpočátku se horniny mohou přemisťovat po svahu plouzivým či sesuvným pohybem. Následuje samotné řícení, při němž postižené rozvolněné hmoty ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím. Po dopadu k patě svahu se většinou ještě uplatňuje stékání nebo sesouvání. Vzdálenost přemístění hmot je vzhledem k prostorovým rozměrům zříceného masivu mnohonásobně větší [2].

Příkladem pohybu typu řícení je opadávání skalních bloku ze stěny v Nové Rasovně v Moravském krasu na obr.3-8.

Tab.2-5 Klasifikace dle Nemčoka, Paška a Rybáře (1974) – řícení [7].

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika		výsledné svahové deformace
řícení	sesypávání	přemísťování drobných úlomků poloskalních hornin až zemin kutálením a válením po svahu	18 	drolení sesypy
	opadávání úlomků	náhlé přemístění úlomků skalních hornin volným pádem, poté válením a posouváním po svahu	19 	opadové kužele sutové kužele haldy úsypy osypy kamenná moře padání kamenů
	odvalové řícení	náhlé přemístění skalních stěn převážně volným pádem	20 	skalní řícení odvalové řícení odvaly
	planární řícení	náhlé přemístění skalních stěn přičemž se kombinuje kluzný pohyb po předurčené ploše s volným pádem	21 	sesutí planární skalní řícení skalní řícení kombinované se sjížděním slovensky „zlomiska“

### 3 PŘÍČINY SVAHOVÝCH POHYBŮ

Rozmanitost svahových pohybů je podmíněna nejen strukturou a celkovými poměry, v nichž se svah nachází, ale také růzností faktorů, které sesouvání způsobují [1].

#### 3.1 Podmínky vývoje svahových pohybů

Rozpoznání prostředí příznivého pro sesouvání umožňuje včasné navrhnutí účelného zabezpečení svahu. Základními podmínkami podporující, nebo zamezující vzniku a vývoji svahového pohybu jsou geologicko-tektonická stavba, geomorfologické, klimatické a hydrogeologické poměry svahu.

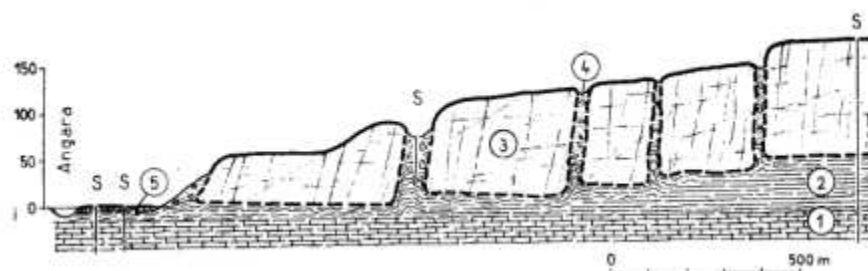
##### 3.1.1 Geologické poměry

Jsou určovány vlastnostmi hornin. Jedním z hlavních parametrů je smyková pevnost horninové masy. Čím nižší pevnost, tím vhodnější podmínky ke vzniku svahového pohybu. Dalším důležitým činitelem je pevnost masivu jako celku. Zvětralé horniny, porušené puklinami s nepříznivým sklonem ploch dělitelnosti a tektonických diskontinuit vytvářejí pro svahové pohyby příhodné podmínky.

Dle Nemčoka existují určité typy geologicko-tektonických struktur, které jsou příznivé pro rozvoj svahových deformací [8]:

- Svahy tvořené horninami, jejichž pevnostní charakteristiky směrem do podloží klesají. Zde probíhá nerovnoměrná eroze. Měkké podloží se rozpadá rychleji než tvrdé nadloží a je vytlačováno váhou nadložních vrstev, které postupně klesají. Na svahu vzniká trvalý nerovnovážený stav.

Příkladem jsou kerné sesuvy při ústí řeky Ilima (obr.3-1), kde podloží mohutného tělesa diabasů tvoří jílovité karbonské sedimenty, jenž jsou uloženy na karbonských pískovcích. Karbonské jílovce jsou na dně údolí z velké části erodovány a pokles okrajových bloků diabasů od dob středního pleistocénu, kdy pohyb pravděpodobně započal, činí přibližně 80 m [1].

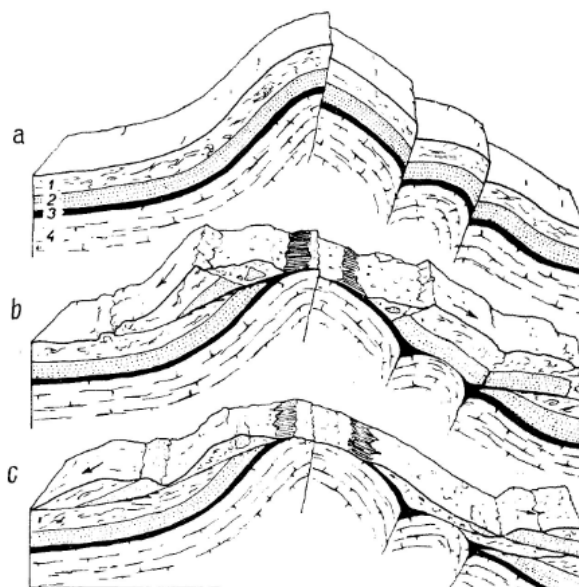


Obr.3-1 Kerné pohyby při ústí řeky Ilima v oblasti Bratského vodního díla na Sibiři.

1 - karbonské pískovce, 2 - jílovce, 3 - diabas, 4 - hlinitopísčité výplň rozsedlin, 5 - písčité štěrky [1].

- Komplexy s vícenásobným střídáním vrstev nebo s výskytem poloh pevnějších a méně odolnějších hornin. Příkladem této struktury jsou flyše vnějšího oblouku Karpat, pro něž je typické střídání pískovců a jílovců s břidlicemi.

- Svahy tektonicky porušené. Tektonické poruchy (vrásy, flexury, poklesy, přesmyky, zlomy) se uplatňují například u dlouhodobých deformací horských svahů, gravitačních posunů či skalního řízení. Ukázkový vývoj gravitačního skluzu v Apeninách je zachycen na obr.3-2, kde se po vrstvě jílu malmského stáří posouvalo souvrství oligocenních pískovců [1].

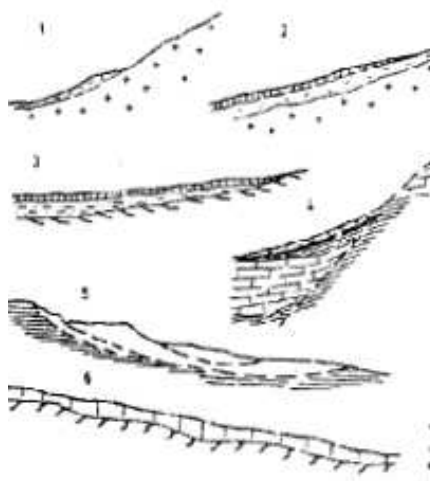


Obr.3-2 Vývoj gravitačního skluzu podle E.Gianniniho.

1- vrstevnaté jíly, 2- pískovce, 3- rudé jíly, 4- křemité vápence, a - vyzdvižení vrásy porušené přesmyky, b - gravitační skluz vrcholových částí vrásy po jílové poloze, c - konečný stav po částečné denudaci [1].

### 3.1.2 Geomorfologické poměry

Svahy, ať už původní přírodní či uměle vytvořené člověkem, představují častý terénní prvek. Jsou výsledkem složitého spolupůsobení endogenních a exogenních procesů a jejich interakce s horninovým prostředím. Vznik pohybů je předurčován členitostí, sklonitostí, formou reliéfu i jeho genezí. Na obr.3-3 jsou zachyceny základní tvary svahů převládajícího způsobu modelace [9].



Obr.3-3 Tvary svahů.

- 1 - erozní svah, 2 - deluviální svah,  
3 - soliflukční svah, 4 - zlomový svah,  
5 - sesuvný svah, 6 - eolický svah [9].

### 3.1.3 Klimatické poměry

Vliv podnebí se projevuje především při abnormálních výkyvech. Důležitým činitelem je v tomto směru nepravidelnost a množství srážek. Čím je klima vlhčí, tím rychleji dochází k degradaci materiálu svahu. Z hlediska klimatu jsou podmínky ovlivňovány i teplotou a jejím kolísáním.

Příkladem vlivu klimatu je oblast mezi městy Rio de Janeiro a Sao Paulo, kde vlhké tropické podnebí nemalou měrou přispívá k intenzivnímu zvětrávání a ovlivňuje tak morfologii terénu a podílí se na distribuci svahových pohybů. Mnoho sesuvů bylo aktivováno při výstavbě přímořské silnice propojující tato města. Jednalo se především o sesuvy v tzv. saprolitech. Za saprolit, často dosahující značné mocnosti (uvádí se až 60 m), je zde označována taková hornina, u níž je tropickým zvětráváním postiženo více než 50% matečné horniny. Litologická nehomogenita spolu s přítomností reliktů původního tektonického porušení horninového masivu v této oblasti přispívá ke značnému oslabení masivu projevujícím se snížením smykové pevnosti. Dalším projevem klimatu jsou pravidelné intenzivní letní srážky, které v zachovalém

puklinovém systému způsobují nárůst tlaku vody, což také nepříznivě ovlivňuje stabilitu svahů [10].

### 3.1.4 Hydrogeologické poměry

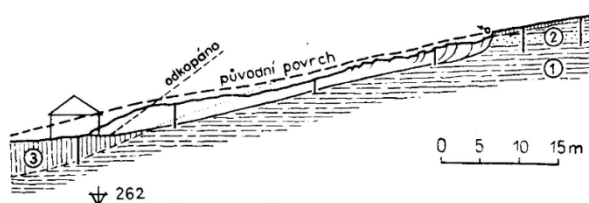
Z tohoto hlediska mezi předpoklady vzniku svahového pohybu patří stav hladiny podzemní vody, přítomnost pramenů a nevyrovnané odtoky na svahu.

## 3.2 Faktory způsobující svahové pohyby (podle prof. Q. Záruby)

K narušení rovnováhy svahu dochází až změnou dosud trvajících podmínek. Dle účinků dělíme faktory vyvolávající tuto změnu na aktivní, jenž zvyšují napětí ve svahu, a pasivní, které snižují pevnost horniny. Na základě povahy intenzity a průběhu trvání rozlišujeme faktory permanentní (dlouhodobé) a epizodické (krátkodobé). Dále rozlišujeme faktory přírodní (např. srážky, vítr) a umělé neboli antropogenní (výstavba, těžba). Profesor Q. Záruba v [1] uvádí, že mezi nejčastější faktory zapříčiňující svahové pohyby patří:

- **Změna sklonu svahu.** Vzrůst sklonu svahu způsobuje změnu napětí. Rovnováha bývá porušena růstem napětí ve smyku. Při odstranění bočního napětí se horniny na svahu uvolňují a snadněji do nich vniká voda. Změna sklonu svahu bývá zapříčiněna podemletím paty svahu erozní činností vodního toku, odkopáním paty svahu a méně často tektonickými poklesy či zdvihy.

Příkladem aktivace sesuvného pohybu změnou sklonu svahu je sesuv iniciovaný odkopem paty svahu na Chlomeckém hřbetu v Ctiměřicích u Mladé Boleslavi (obr.3-4). Sesuvem byla postižena vrstva svahových hlín a povrchové zvětralé polohy písčitých slínů, do kterých zatékala voda vyvěrající z pískovců v nadloží [1].



Obr.3-4 Profil plošným sesuvem - Ctiměřice.

1 - svrchnoturonské slíny, 2 - svrchnoturonské slinité písky, 3 - sprašová hlína [1].



- **Přetížení násypy.** Zatížení tohoto typu způsobuje zvyšování smykových napětí a růst napětí vody v pórech jílovitých zemin, čímž se zmenšuje vnitřní tření.

Příkladem aktivace svahového pohybu po přetížení svahu násypem je sesouvání pokryvných materiálů pocházejících z permských argilitů u Tatobit (obr.3-5).



Obr.3-5 Schematický řez sesuvem u Tatobit.

1 - melafyry (perm), 2 - jílovce (perm), 3 - svahové pokryvy, 4 - sesuté horniny, 5 - násyp stavby silnice, 6 - drenážní vrtý [11].

- **Otřesy a vibrace.** Při zemětřesení či vibracích způsobených dopravou nebo odstřelem se iniciují kmity různé frekvence a dochází k dočasným změnám napětí, což vede k porušení rovnováhy svahu. U zvodnělých písků a citlivých jílů vlivem kmitání sledujeme přemístění a pootočení zrn vedoucí až k náhlému ztekucení. Ve spraších a málo zpevněných písčích se otřesy mohou projevit snížením soudržnosti respektive porušením intergranulární vazby.

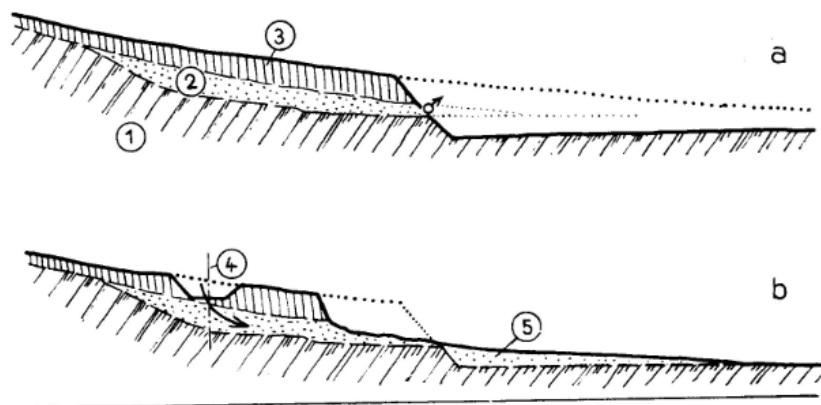
Jako příklad vlivu působení tohoto faktoru může sloužit zemětřesení z května roku 2008 v čínské provincii Sichuan o magnitudě 8, které způsobilo aktivaci několika sesuvných pohybů např. sesuvy Wangjiayan a New Beichuan Middle School Landslide v městě Beichuan či sesuv Daguangbao v oblasti Anxianu. Charakteristickými rysy chování sesuvů při zemětřesení jsou strmější smyková plocha v odlučné oblasti, která zasahuje do větších hloubek, a mnohem delší transportní zóna [12].

- **Změna obsahu vody.** Voda z dešťových srážek a z tajícího sněhu vnikající do puklin působí změnu hydrostatického tlaku. Nárůst napětí vody v pórech je doprovázen klesající pevností ve smyku a změnou konzistence. Naopak v období sucha jílovité zeminy vysychají a smršťují se, což má za následek vznik trhlin a zmenšení soudržnosti zemin ve svazích. V rámci tohoto faktoru se uplatňuje i rychlá změna vodní hladiny, což může vést k přemístění zrn či zvýšení vodního tlaku v pórech.

Vliv atmosférických srážek je pozorován na rychlosti posunu skalního sesuvu Řečica (sesuv po predisponovaných smykových plochách paleogenních pískovců a jílovců godulského souvrství [1]) na jižním svahu vodní nádrže Šance na řece Ostravici, kdy pohyb citlivě reaguje na extrémní deště se zpožděním řádově v hodinách, přičemž mezní hranice intenzity srážek pro aktivaci sesuvu je asi 60 až 100 mm/den [13].

**Podzemní voda.** Zhoršení stability svahu způsobuje tlak na částice zeminy vyvolaný prouděním podzemní vody. V jemném písku může proudění vody zapříčinit vyplavení částic zeminy ze svahu. Při tomto jevu vznikají podzemní dutiny, které narušují integritu svahu. Také může docházet k vyplavování rozpustného tmelu, což vede k oslabení intergranulární vazby a snížení hodnot soudržnosti a součinitele vnitřního tření. Je-li hladina podzemní vody napjatá, působí na nepropustné vrstvy v nadloží jako vztlak a ohrožuje svahy rychle probíhajícími sesuvy.

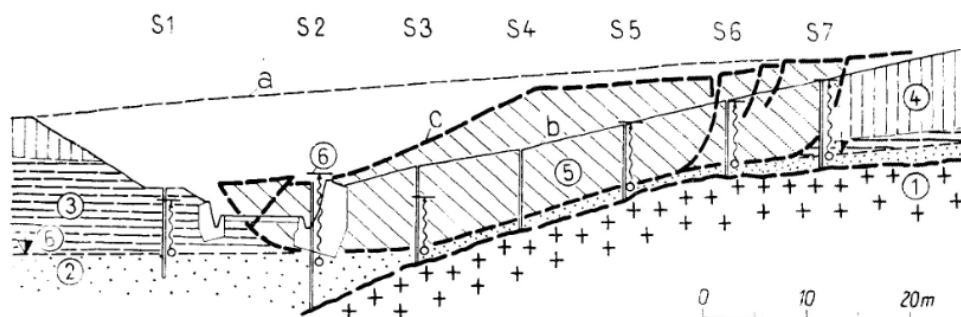
Příklad porušení rovnovážného stavu svahu při vyplavení písku je zachycen na obr.3-6. Svah, vzniklý po rozšíření nádraží v Praze Libni, je tvořen ordovickými břidlicemi. Na břidlicích spočíval zbytek písčité terasy překrytý téměř nepropustnou vrstvou jílovitohlinité svahové suti. K porušení stability došlo, když do písčité vrstvy protekla srážková voda přes zářez nově budované pozemní komunikace [1].



Obr.3-6 Porušení svahu vyplavením písku.

- 1 - ordovické břidlice, 2 - jemné písky, 3 - jílovitohlinitá suť, 4 - výkop pro novou komunikaci, 5 - naplavený kužel jemného písku, a - stabilní svah výkopu, b - vyplavená vrstva písku a sesunutý svah po protečení srážkové vody výkopem [1].

Jako příklad působení vzlaku podzemní vody může sloužit sesuvný pohyb neogenních slínů uložených na vrstvě písku s napjatou hladinou podzemní vody, jenž se stal u Kuřimi při stavbě železniční trati Brno - Tišnov (obr.3-7) [1].



Obr.3-7 Porušení stability svahu zářezu vlivem napjaté podzemní vody.

1 - žula, 2 - neogenní písky, 3 - neogenní slín, 4 - sprašové hlíny, 5 - sesuté hmoty, 6 - napjatá hladina podzemní vody, a - povrch svahu před stavbou, b - upravený svah, c - stav po sesutí [1].

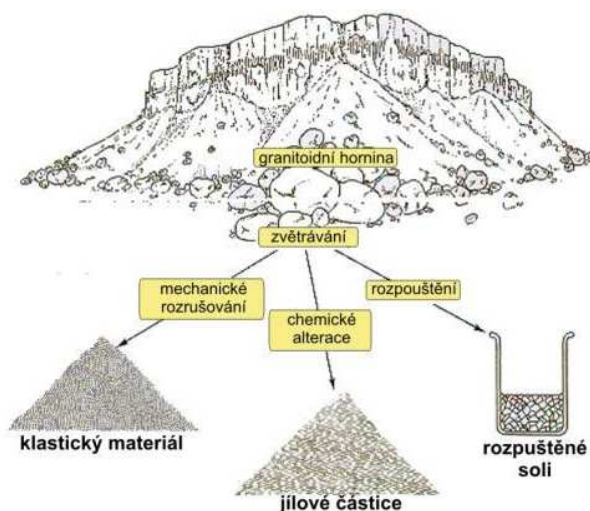
- **Mráz.** Působením mrazu voda v puklinách zvětšuje svůj objem, rozšiřuje stávající trhliny a podporuje vznik nových. Rozpukané horniny pak vykazují menší soudržnost. Ledové vrstvičky, které se tvoří v jílovitých a jílovitopísčitých zeminách, mají v době tání za následek rozbředání povrchových vrstev.

Vliv mrazu se projevuje například na skalní stěně v Nové Rasovně u obce Holštejn v Moravském Krasu. Skalní stěna se tyčí nad ponorem Bílé vody a vlivem mrazového zvětrávání, erozní činností potoka v místě ponoru a srážkové vody ohrožuje své bezprostřední okolí opadáváním skalních bloků. Skalní stěna je tvořena devonskými vápenci s četnými kalcitovými žilkami a nepravidelným zkrasovatěním. Kvartér je zastoupen jílovito-písčitými a hlinitými sedimenty, které se vyskytují i v širších puklinách vápenců, a dále svahovými hlínami a hlinitokamenitými sutěmi. Po vypadnutí několika menších bloků v roce 1998 vznikla ve stěně erozivní rýha (obr.3-8), která se postupně rozšiřuje [14].



Obr.3-8 Erozivní rýha - pohled směrem k ponoru [14].

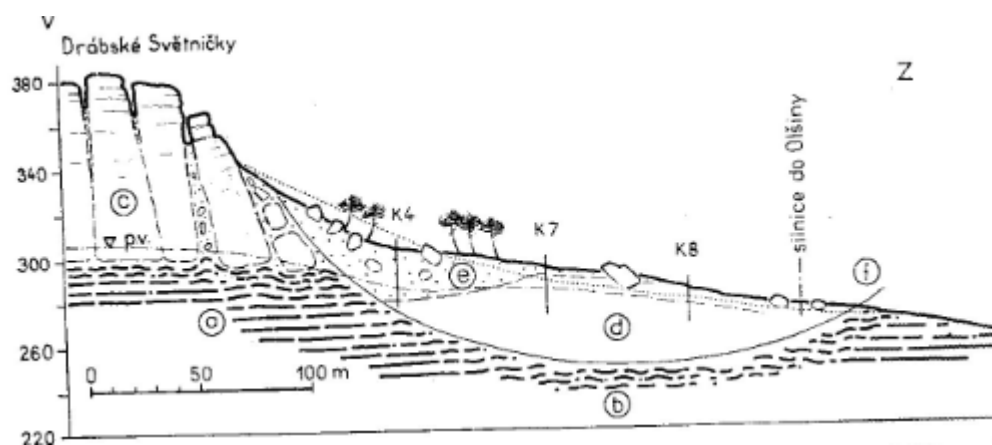
- **.Zvětrávání hornin svahů.** Mechanické a chemické zvětrávání postupně porušuje soudržnost hornin (obr.3-9) a například u pískovců vede ke vzniku mohutných suťových pokrývů, které zatěžují podloží na úpatí pískovcových stěn [1].



Obr.3-9 Schéma procesu zvětrávání vedoucí k rozpadu horniny [15].

Příkladem svahového pohybu, kde se jako faktor ovlivňující nestabilitu svahu projevilo zvětrávání hornin, je sesuv v roce 1926 na úpatí Mužského u Mnichova Hradiště (obr.3-10). Za současných klimatických podmínek dochází k intenzivnímu povrchovému zvětrávání pískovcových stěn a tvorbě mohutných písčitých sutí na úpatí.

Vydatné deště toho roku napojily vodou písčité sutě a zvětšily jejich váhu, což vedlo k porušení smykové pevnosti slínů v podloží [1].



Obr.3-10 Sesuv na úpatí Mužského u Mnichova Hradiště.

a - slíny (svrchní turon), b - prognétné slíny, c - pískovce (senon), d - sesuté prognétné slíny, e - svahová suť, f - výchoz smykové plochy [1].

- **Změny ve vegetačním porostu svahů.** Odstranění vegetace způsobuje změnu vodního režimu v povrchových vrstvách a vede k urychlení eroze. Kořeny stromů svým mechanickým působením udržují stabilitu svahu a zároveň spotřebovávají část podzemní vody, čímž přispívají k vysušování svahu. Po vykácení pralesa v oblasti Rio de Janeiro - Sao Paulo zůstalo mnoho svahů nezalesněno. Toto se projevuje především v období letních intenzivních srážek, kdy na vykácených svazích vznikají přívalové zemní proudy [10].

## 4 ZPŮSOBY ŘEŠENÍ STABILITY SVAHU

Při porušení svahu dochází ke změně poměru aktivních sil (způsobují pohyb hornin – tangenciální složka tíhy, tlak proudící vody, vztlak vody působící proti normálové složce tíhy) a pasivních sil (brání pohybu – pevnost).

Poměr mezi pasivními silami  $F_p$  a silami aktivními  $F_a$  nazýváme stupněm stability či stupněm bezpečnosti. Je-li stupeň stability větší než jedna, považujeme svah za stabilní. Tato metodika posouzení bezpečnosti je historicky nejstarší ale i dnes rozšířená. Její klady jsou v jednoduchosti a přehlednosti. Při tomto výpočtu se ani zatížení ani parametry zemin neredukují žádným výpočtovým koeficientem [16].

Odlišným přístupem je posouzení stability dle mezních stavů, kde prokazujeme bezpečnost srovnáním veličiny vzdorující (síla vzdorující, pevnost, únosnost) a veličiny porušující (síla posouvající, napětí), přičemž parametry a veličiny vstupující do výpočtu jsou redukovány (parametry zemin, odpor konstrukce) respektive zvětšovány (zatížení) koeficienty. Tuto metodiku pro řešení stability svahů ustanovuje norma ČSN EN 1997-1 [16].

Eurokód 7 rozlišuje tři návrhové přístupy DA1, DA2 a DA3. Návrhový přístup DA1 je rozdělen na dvě kombinace. U kombinace 1 se dílčí součinitelé uplatňují pouze na zatížení, kdežto u kombinace 2 se dílčími součiniteli upravují materiálové charakteristiky (parametry zemin) a proměnná zatížení. U návrhového přístupu DA2 se dílčí součinitelé aplikují na zatížení a odpor materiálu (únosnost zeminy), materiálové charakteristiky upravovány nejsou. V případě návrhového přístupu DA3 jsou dílčími součiniteli upraveny materiálové charakteristiky (parametry zeminy) a zatížení [16].

Řešení uvedená v kapitole 6 jsou ve formě stupně bezpečnosti dle vzorce 4-1 a zároveň byl použit výpočet dle mezních stavů s uplatněním návrhového přístupu DA3, kdy výstupem je hodnota využití  $V_u$  dle vztahu 4-2:

$$FS = \frac{X_{pas}}{X_{act}} \quad (4-1)$$

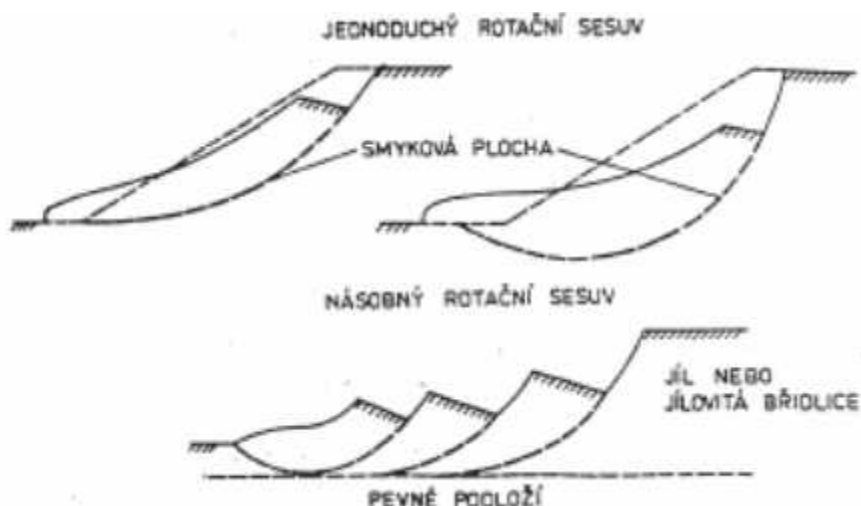
kde  $FS$  je spočítaný stupeň bezpečnosti,  $X_{pas}$  je obecně veličina bránící pohybu a  $X_{act}$  je obecně veličina způsobující pohyb [16].

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} \cdot 100\% < 100\% \quad (4-2)$$

kde  $M_a$  je moment sesouvající a  $M_p$  je moment vzdorující [16].

K řešení stability svahu používáme metody využívajícími nomogramy, metody mezní rovnováhy či metody řešení napjatosti a deformace zemního tělesa.

Na základě geologického profilu posuzovaného svahu stanovujeme předpokládaný tvar smykové plochy. U nesoudržných zemin vzniká rovinná smyková plocha. V soudržných zeminách se smyková plocha vlivem vzrůstající soudržnosti zakřivuje (obr.4-1). V tomto případě nejčastěji volíme válcovou smykovou plochu případně křivky s proměnlivou křivostí (logaritmické spirály) [17]. K celkovému řešení stability potřebujeme znát smykovou pevnost a rozdělení napětí na smykových plochách.



Obr.4-1 Rotační smyková plocha [18].

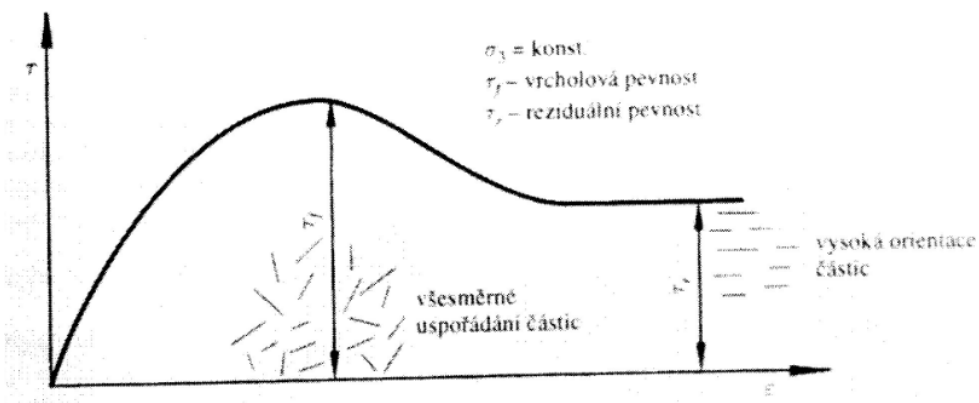
## 4.1 Smyková pevnost

Smyková pevnost působí jako složka bránící ztrátě stability. Při řešení krátkodobé stability násypů je pro její stanovení vhodné použít totální parametry (soudržnost  $c_u$  a úhel vnitřního tření  $\varphi_u$ ), kdy se očekává zkonsolidování zeminy v čase a tím zlepšení vlastností zeminy. Naproti tomu v úlohách dlouhodobého charakteru, jakou je například sesuv přirozeného svahu, užíváme parametrů efektivních (soudržnost  $c_{ef}$  a úhel vnitřního tření  $\varphi_{ef}$ ).

Obr.4-2 ukazuje průběh smykové pevnosti při zatěžování zeminy. Rozlišujeme smykovou pevnost vrcholovou a reziduální. Vrcholovou pevnost stanovíme vzorcem:

$$\tau_f = \sigma_f \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (4-3)$$

kde  $\sigma_f$  je normálové napětí smykové ploše porušení,  $\varphi$  je úhel vnitřního tření pro vrcholovou pevnost a  $c$  je koheze zeminy pro vrcholovou smykovou pevnost.



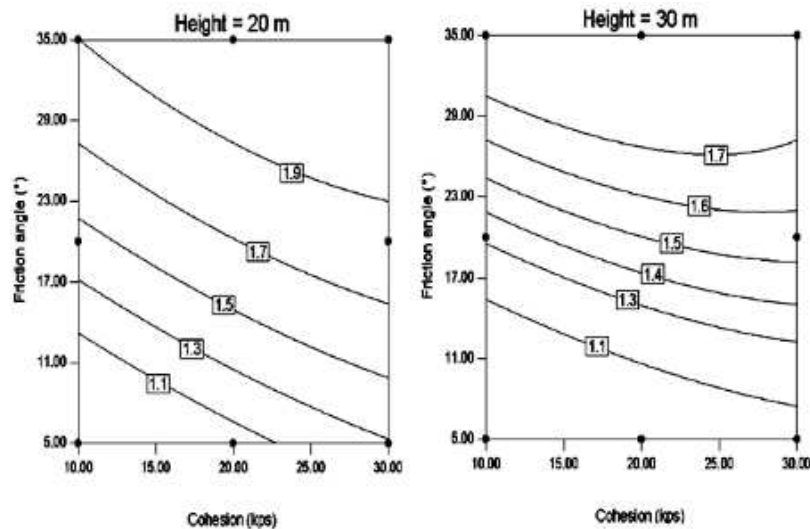
Obr.4-2 Přetvárný diagram pro napětí  $\sigma_3$  [17].

Jsou-li smyková napětí  $\tau < \tau_f$ , lze považovat tento stav zeminy za bezpečný. Pokud smykové napětí dosáhne  $\tau = \tau_f$  dochází k porušení zeminy a následnému snižování odporu zeminy na reziduální pevnost  $\tau_r$  danou reziduálním úhlem vnitřního tření  $\varphi_r$  a reziduální soudržností  $c_r$ .

## 4.2 Určení stability svahů použitím nomogramů

Zavádění metod mezní rovnováhy do praxe vedlo ke snaze zjednodušit celkový výpočet stupně stability svahu. Výsledkem byly speciální grafy, jenž kombinovaly zkušenosti a jednotlivé výpočetní metody. Tento přístup se používá pro předběžný návrh a jednoduché úlohy (obr.4-3).





Obr.4-3 Ukázka nomogramů pro výpočet stability homogenního zemního tělesa přehrady [19].

Příkladem metody používající nomogramy je způsob určení kritické smykové plochy podle Rodrigueze. Tento postup lze aplikovat pouze na svahy, které nejsou zvrstveny. Pro příslušnou hodnotu  $\lambda$  (ze vztahu 4-4) dle sklonu svahu  $\alpha$  odečteme z grafu na obr.4-4 hodnoty souřadnic  $x$  a  $y$ .

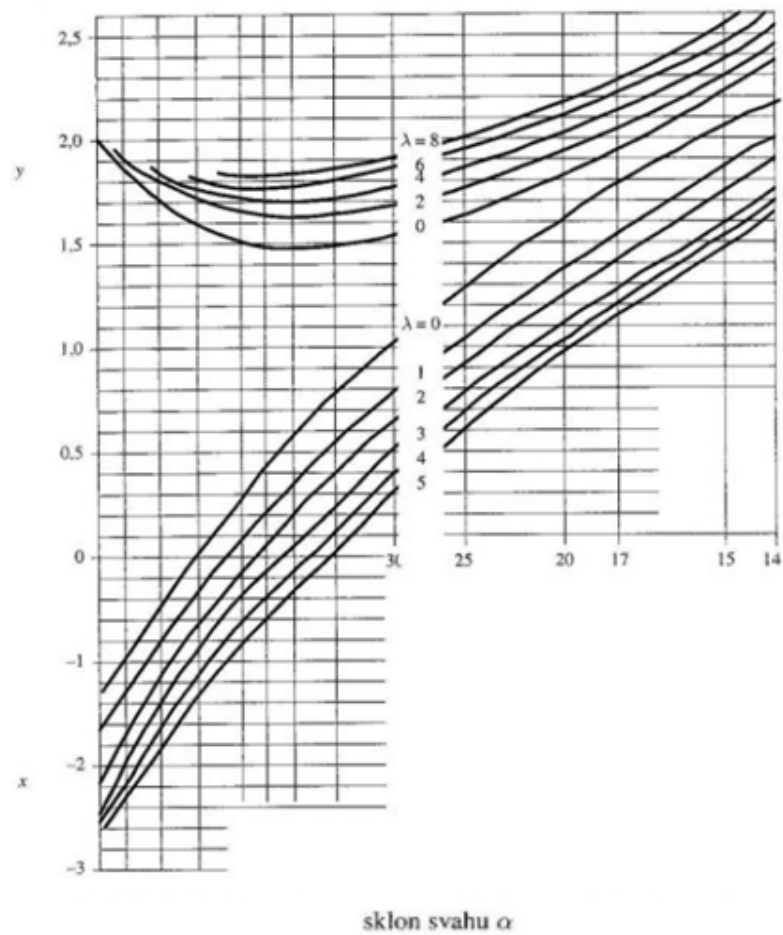
$$\lambda = \frac{\gamma \cdot h \cdot \tan \varphi_d}{c_d} \quad (4-4)$$

kde  $\gamma$  je objemová tíha zeminy,  $h$  je výška svahu,  $\varphi_d$  je návrhový úhel vnitřního tření zeminy a  $c_d$  návrhová soudržnost zeminy [17].

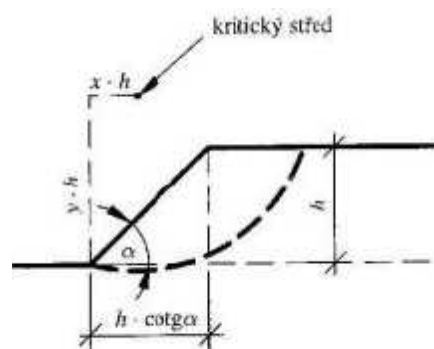
Střed kritické kružnice (obr.4-5) dostaneme vynesáním souřadnic  $x \cdot h$  a  $y \cdot h$  od paty svahu. Stupeň stability pro homogenní svahy určíme podle vzorce 4-5, kde velikost součinitele  $N$  získáme pro vypočtenou hodnotu  $\lambda$  a navržený sklon svahu  $\alpha$  z grafu na obr.4-6.

$$F = \frac{N \cdot c_d}{\gamma \cdot h} \quad (4-5)$$

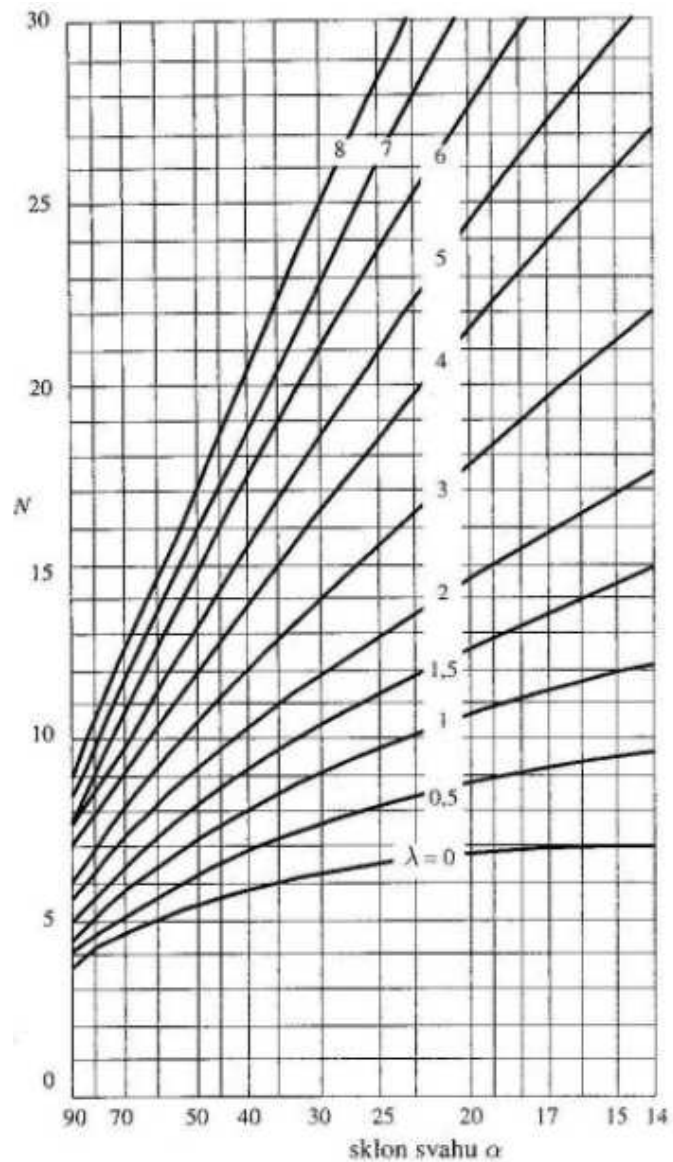
kde  $N$  je součinitel,  $c_d$  návrhová soudržnost zeminy,  $\gamma$  je objemová tíha zeminy a  $h$  je výška svahu [17].



Obr.4-4 Stanovení velikosti souřadnic  $x$  a  $y$  [17].



Obr.4-5 Nalezení středu kritické kružnice dle Rodrigueze [17].



Obr.4-6 Určení součinitele  $N$  [17].

### 4.3 Metody mezní rovnováhy

Stabilitu svahu řešíme jako rovnováhu sil podél předpokládané smykové plochy, která by vznikla případným sesuvem. Posouzení provádíme na základě vypočteného stupně stability  $F$ . Stupeň stability (poměr mezi pasivními a aktivními silami) můžeme vyjádřit vzorcem:

$$F = \frac{\tau_{max}}{s} \quad (4-6)$$

kde  $\tau_{max}$  je maximální smyková pevnost a  $s$  je mobilizovaná smyková pevnost [18].

Uvažujeme-li smykovou pevnost redukovanou stupněm stability  $F$ , je na smykové ploše dosaženo mezní rovnováhy:

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} \quad (4-7)$$

Tento přístup neodpovídá koncepci mezních stavu s uvážením pravděpodobnosti a nezahrnuje vývoj smykové pevnosti s ohledem na přetvoření. Při řešení vycházíme z modelu plastického přetvoření a stabilitní výpočet provádíme třemi základními způsoby.

První přístup je řešení v totálních napětích bez vlivu tlaku vody v pórech:

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_u}{F} + \frac{\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_u}{F} \quad (4-8)$$

kde  $c_u$  je totální soudržnost,  $\sigma$  je normálové napětí a  $\varphi_u$  je totální úhel vnitřního tření [18].

Druhým přístupem je řešení v efektivních napětích, kdy počítáme s pórovým tlakem stanoveným při ustáleném proudění z proudové sítě a bereme v úvahu změnu pórových tlaků v čase:

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_{ef}}{F} + \frac{(\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef}}{F} \quad (4-9)$$

kde  $c_{ef}$  je efektivní soudržnost,  $\sigma$  je normálové napětí,  $u$  je pórový tlak vody a  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření [18].

Třetím způsobem je řešení v efektivních napětích s použitím proudového tlaku vody  $p_v$ :

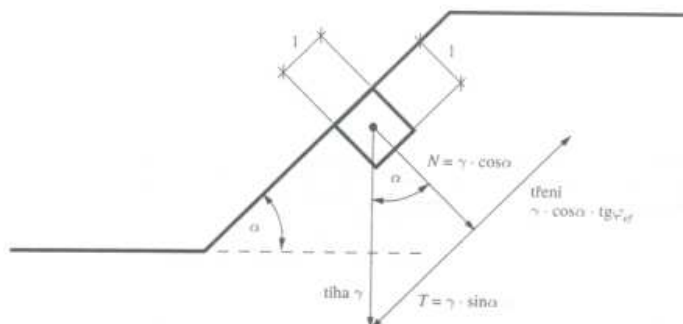
$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_{ef}}{F} + \frac{\sigma_{ef} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef}}{F} \quad (4-10)$$

kde  $c_{ef}$  je efektivní soudržnost,  $\sigma_{ef}$  je efektivní normálové napětí a  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření [18].

V praxi používáme především první dva způsoby výpočtu. Výhoda druhého před třetím spočívá v možnosti výpočtu případů s neustáleným prouděním a ve snadnějším vyjádření silových podmínek u složitějších metod řešení [18].

#### 4.3.1 Stabilita svahu – nesoudržné zeminy

Jak již bylo napsáno výše, v nesoudržných materiálech se vytváří rovinné smykové plochy. Z podmínek rovnováhy stanovujeme maximální sklon svahu  $\alpha$  tak, že na povrchu svahu vytkneme prvek o jednotkovém objemu a vlastní tíhu tohoto elementu  $\gamma$  rozložíme do směru normály k rovině svahu ( $\gamma \cdot \cos \alpha$ ) a do směru rovnoběžného se svahem ( $\gamma \cdot \sin \alpha$ ) (obr.4-7).



Obr.4-7 Řešení pro nesoudržné zeminy neprosakuje-li svahem voda [17].

Řešíme-li úlohu **bez působení vody** (obr.4-7), prvek považujeme za stabilní za předpokladu, že tangenciální složka je menší nebo stejná jako tření  $T$  vyvolané normálovou složkou:

$$T \leq N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef} \quad (4-11)$$

$$\gamma \cdot \sin \alpha \leq \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef} \quad (4-12)$$

upravíme-li výše uvedenou rovnici, získáme:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \varphi_{ef} \quad (4-13)$$

kde  $T$  je tření,  $N$  je normálová síla,  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření,  $\gamma$  je objemová tíha a  $\alpha$  je úhel sklonu svahu [17].

Ze vztahu vyplývá, že řešení nezávisí na objemové tíze zeminy a úhel sklonu svahu  $\alpha$  může dosáhnout maximálně velikosti úhlu vnitřního tření  $\varphi_{ef}$  [17].

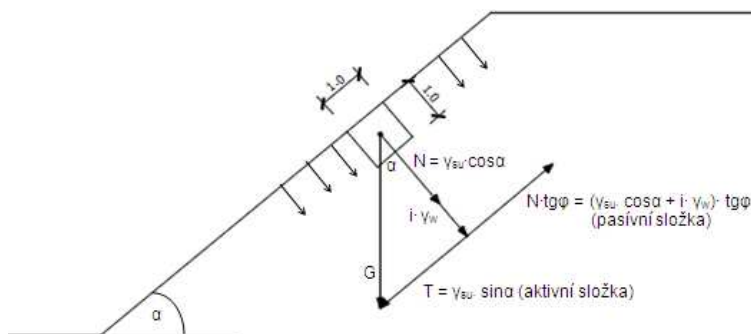
Máme-li úlohu, kdy **voda prosakuje kolmo do svahu** (obr.4-8), pro stabilní svah vycházíme z podmínky:

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha = (\gamma_{su} \cdot \cos \alpha + i \cdot \gamma_w) \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4-14)$$

Stupeň stability se určí ze vzorce:

$$F = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \left(1 + \frac{i \cdot \gamma_w}{\gamma_{su} \cdot \cos \alpha}\right)}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4-15)$$

kde  $\gamma_{su}$  je objemová tíha zeminy pod hladinou vody,  $\alpha$  je úhel sklonu svahu,  $i$  je proudový tlak,  $\gamma_w$  je objemová tíha vody,  $\varphi$  je úhel vnitřního tření [20].



Obr.4-8 Řešení pro nesoudržné zeminy – voda prosakuje kolmo do svahu [20].

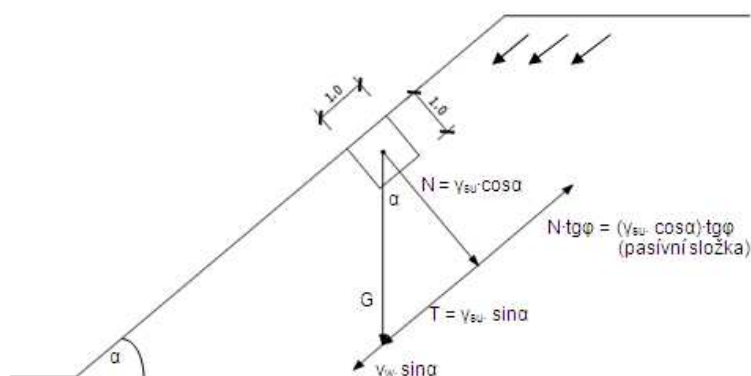
Pro úlohu s **vodou prosakující rovnoběžně se svahem** (obr.4-9), stanovujeme podmínku pro rovnovážný stav:

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha + \gamma_w \cdot \sin \alpha = \gamma_{su} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4-16)$$

Stupeň stability vypočítáme:

$$F = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \left(\frac{\gamma_{su}}{\gamma_{su} + \gamma_w}\right)}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4-17)$$

kde  $\gamma_{su}$  je objemová tíha zeminy pod hladinou vody,  $\alpha$  je úhel sklonu svahu,  $\gamma_w$  je objemová tíha vody a  $\varphi$  je úhel vnitřního tření [20].



Obr.4-9 Řešení pro nesoudržné zeminy – voda prosakuje rovnoběžně se svahem [20].

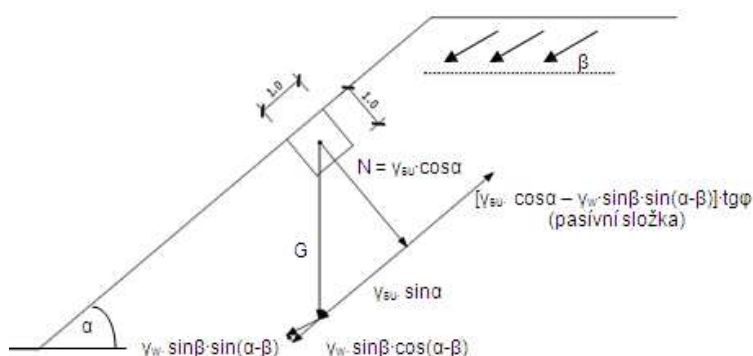
Při řešení zadání, v němž **voda prosakuje svahem pod obecným úhlem** (obr.4-10), vyjádříme rovnovážný stav rovnicí:

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha + \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \cos (\alpha - \beta) = [\gamma_{su} \cdot \cos \alpha - \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \sin (\alpha - \beta)] \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4-18)$$

Stupeň stability vypočítáme dosazením do vzorce:

$$F = \frac{[\gamma_{su} \cdot \cos \alpha - \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \sin (\alpha - \beta)] \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma_{su} \cdot \sin \alpha + \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \cos (\alpha - \beta)} \quad (4-19)$$

kde  $\gamma_{su}$  je objemová tíha zeminy pod hladinou vody,  $\alpha$  je úhel sklonu svahu,  $\gamma_w$  je objemová tíha vody,  $\beta$  je úhel, pod kterým voda protéká zeminou,  $\gamma_{su}$  je objemová tíha zeminy pod hladinou vody,  $\gamma_w$  je objemová tíha vody a  $\varphi$  je úhel vnitřního tření [18].



Obr.4-10 Řešení pro nesoudržné zeminy – voda prosakuje svahem pod obecným úhlem [20].

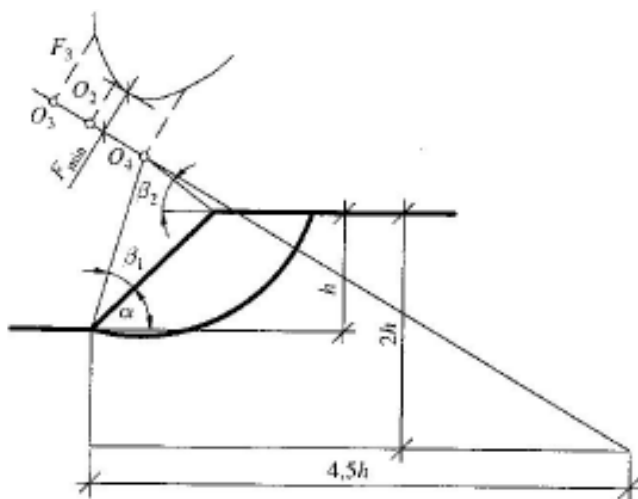
### 4.3.2 Stabilita svahu – soudržné zeminy

Při řešení v soudržných zeminách příčný řez smykovou plochou nahrazujeme kruhovou nebo obecnou - polygonální smykovou plochou. Pro posouzení stability svahu hledáme nebezpečnou (kritickou) smykovou plochu, u které je poměr sil pasivních k silám aktivním minimální a stupeň stability nejnižší [17].

#### 4.3.2.1 Felleniova metoda

U Felleniovy metody vykreslíme „přímku“, která prochází bodem ležícím v hloubce rovné dvojnásobku výšky svahu ve vzdálenosti 4,5 násobku od paty svahu a bodem, jenž získáme vynesemím úhlů  $\beta_1$  a  $\beta_2$  podle obr.4-11. Příslušné úhly  $\beta_1$  a  $\beta_2$  odečteme v závislosti na sklonu svahu z tab.4-1.

Na nalezené „přímce“ náhodně volíme středy kružnic pro smykové plochy, u kterých počítáme stupeň stability  $F$ . Hodnoty  $F$  vynášíme kolmo z jednotlivých středů otáčení a spojujeme je křivkou, ke které vedeme tečnu rovnoběžnou s „přímkou“. V místě dotyku se nachází nejnižší stupeň stability. Spustíme-li kolmici z tohoto bodu, nalezneme na „přímce“ střed kritické smykové plochy.



Obr.4-11 Stanovení kritické plochy dle Felleniovy metody [17].



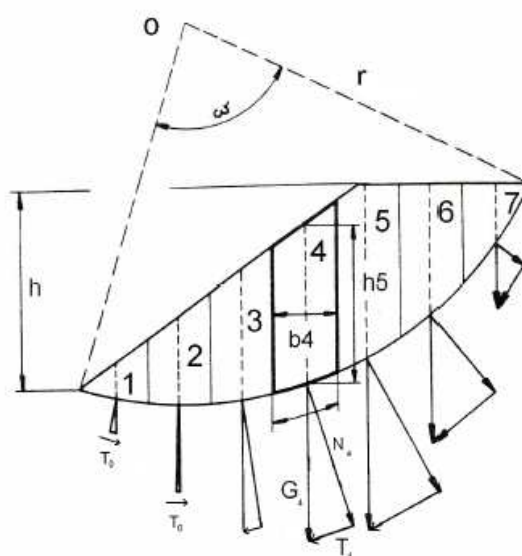
Tab.4-1 Úhly  $\beta_1$  a  $\beta_2$  pro různé sklony svahu  $\alpha$  [17].

tg $\alpha$	1,73 : 1	1 : 1	1 : 1,5	1 : 2	1 : 3	1 : 5
$\alpha$	60°	45°	33°41′	26°34′	18°25′	11°19′
$\beta_1$	29°	28°	26°	25°	25°20′	25°
$\beta_2$	40°	37°	35°	35°	35°30′	36°50′

Je-li úhel vnitřního tření  $\varphi = 0$ , pak se střed nebezpečné smykové plochy nachází na průsečíku přímek vedených pod úhly  $\beta_1$  a  $\beta_2$ .

#### 4.3.2.2 Pettersonova metoda

Pettersonova metoda je jednoduchou proužkovou metodou, kdy neuvažujeme působení sousedních elementů. Úlohu řešíme jako rovinnou na 1 m délky svahu. Svah nad smykovou plochou rozdělíme na svislé proužky stejné šířky  $b$  a stanovíme silové působení každého pruhu zeminy na příslušný úsek smykové plochy, tedy působící vlastní tíhy proužků  $G_i$  graficky rozložíme na složky normálové  $N_i$  (kolmé ke smykové ploše a procházející středem  $O$ ) a na složky tangenciální  $T_i$  (tečny ke kružnici) (viz obr.4-12).



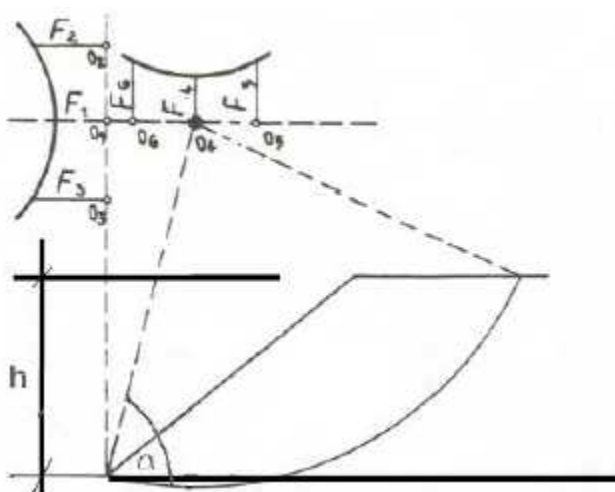
Obr.4-12 Pettersonova metoda [17].

Následně určíme výsledný moment pasivních a aktivních sil ke středu otáčení a stanovíme stupeň stability  $F$ :

$$F = \frac{M_{pasivní}}{M_{aktivní}} = \frac{\Sigma(N_i \cdot tg\varphi) + 0,8 \cdot c \cdot \Sigma \Delta l_i}{\Sigma T_i - \Sigma T_{0i}} \quad (4-20)$$

kde  $M_{pasivní}$  je moment od pasivních sil,  $M_{aktivní}$  je moment od sil aktivních,  $N_i$  je normálová složka tíhy  $i$ -tého proužku,  $\varphi$  je úhel vnitřního tření,  $c$  je soudržnost zeminy (její účinky se uvažují jen na 80 % délky smykové plochy  $\Delta l_i$ , protože v horní a dolní části svahu nepůsobí plnou silou),  $T_i$  je tangenciální složka tíhy  $i$ -tého proužku,  $T_{0i}$  je tangenciální složka tíhy  $i$ -tého proužku v dolní části svahu, která působí proti usmyknutí [17].

U Pettersonovy metody hledáme kritickou smykovou plochu postupnou volbou středů otáčení a poloměrů smykové plochy. Na svislici procházející patou svahu zvolíme středy otáčení a vykreslíme příslušné smykové plochy, pro které stanovíme stupně stability. Takto získané stupně stability vyneseme na kolmice ke svislici procházející jednotlivými středy otáčení a spojíme je křivkou, na které určíme minimální stupeň stability. V místě minima vedeme vodorovnou přímku, na níž volíme další středy kružnic a obdobným způsobem nalezneme minimální hodnotu stupně stability a odpovídající střed otáčení  $O$ , který představuje střed nebezpečné smykové plochy (obr.4-13).



Obr.4-13 Stanovení kritické plochy podle Pettersona [17].

#### 4.3.2.3 Zjednodušená Bishopova metoda

Zjednodušená Bishopova metoda (obr.4-14) je odvozena pro homogenní těleso bez působení vodorovného zatížení a patří mezi klasické proužkové metody. Při výpočtu stability svahu touto metodou vycházíme z válcové smykové plochy, kdy nezanedbáváme spolupůsobení sousedních proužků. Interakce mezi proužky se ve výpočtu projeví jako vodorovné síly působící na  $i$ -tý proužek. Předpokládáme nulové smykové síly mezi proužky.

Ze silového obrazce (obr.4-14) a podmínky ve svislém směru vyjádříme rovnici:

$$N_{ef} = N - u \cdot l = \frac{W + (X_n - X_{n+1}) - l \cdot (u \cdot \cos\alpha + \frac{c_{ef}}{F} \cdot \sin\alpha)}{\cos\alpha + \frac{tg\varphi_{ef}}{F} \cdot \sin\alpha} \quad (4-21)$$

kde  $N$  je normálová síla na smykové ploše,  $u$  je pórový tlak vody,  $l$  je délka smykové plochy proužku,  $W$  je vlastní tíha proužku,  $X_n$  jsou svislé síly mezi proužky,  $\alpha$  je odklon normálové síly od svislice,  $c_{ef}$  je efektivní soudržnost zeminy,  $F$  je stupeň stability a  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření zeminy [18].

Vycházíme z rovnice pro stupeň stability:

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin\alpha} \sum [c_{ef} \cdot l + (N - u \cdot l) \cdot tg\varphi_{ef}] \quad (4-22)$$

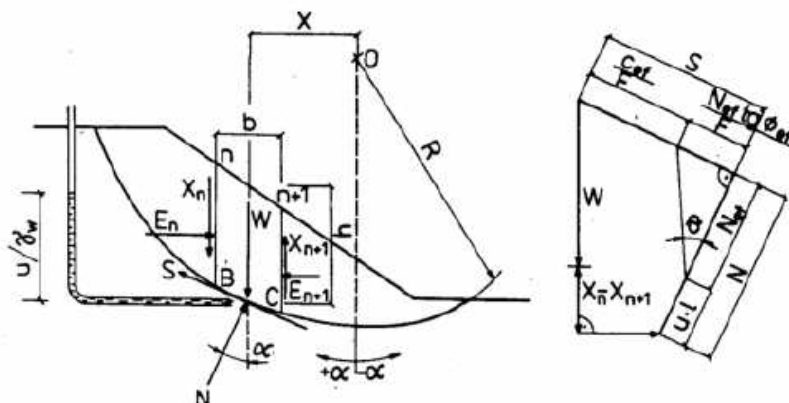
kde  $W$  je vlastní tíha proužku,  $\alpha$  je odklon normálové síly od svislice,  $c_{ef}$  je efektivní soudržnost zeminy,  $l$  je délka smykové plochy proužku,  $N$  je normálová síla na smykové ploše,  $u$  je pórový tlak vody a  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření zeminy [18].

Zanedbáním rozdílu  $X_n - X_{n+1}$ , který má dle Bishopa velmi malý význam, zavedením  $l = b \cdot \sec\alpha$  a dosazením 4-21 do rovnice pro stupeň stability 4-22 dostáváme výraz pro řešení stupně stability, které je označováno jako zjednodušená Bishopova metoda:

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin\alpha} \sum \frac{c_{ef} \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot tg\varphi_{ef}}{\cos\alpha + \frac{tg\varphi_{ef} \cdot \sin\alpha}{F}} \quad (4-23)$$

kde  $W$  je vlastní tíha proužku,  $\alpha$  je odklon normálové síly od svislice,  $c_{ef}$  je efektivní soudržnost zeminy,  $b$  je šířka proužku,  $u$  je pórový tlak vody,  $\varphi_{ef}$  je efektivní úhel vnitřního tření zeminy a  $F$  je stupeň stability [18].

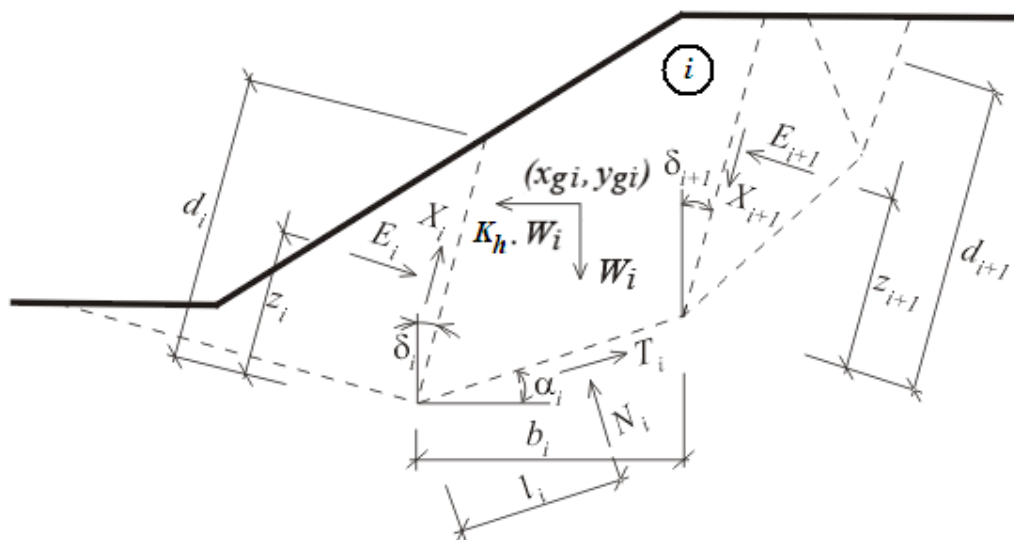
Při řešení stupně stability  $F$  je potřeba výraz 4-23 iterovat.



Obr.4-14 Řešení stupně stability Bishopovou metodou [18].

#### 4.3.2.4 Sarmova metoda

Sarmova metoda je obecná proužková metoda mezní rovnováhy, u které při řešení stability svahu vycházíme z polygonální smykové plochy. Rozdělením oblasti zeminy nad smykovou plochou rovinami, které obecně mohou mít různý sklon, vznikají bloky. Určením podmínek rovnováhy sil i momentů na jednotlivých blocích získáme řešení (obr.4-15) [16].



Obr.4-15 Sarmova metoda - statické schéma [16].

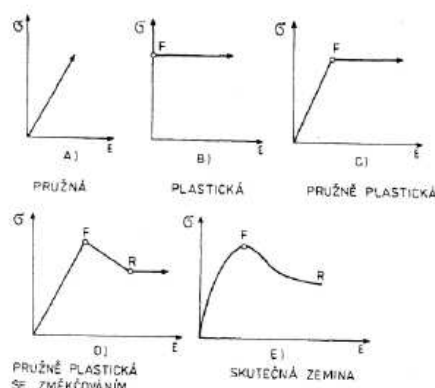
Rozdělíme smykovou plochu na  $n$  bloků, čímž získáme  $6n - 1$  neznámých. Pro jejich výpočet máme  $5n - 1$  rovnic (vodorovné součtové výminky na blocích, svislé součtové výminky na blocích, momentové výminky na blocích, vztahy mezi normálovými a smykovými silami podle Mohr-Coulombovy teorie), proto  $n - 1$  neznámých musíme odhadnout. Odhadem působiště sil  $E_i$  se dopustíme malé nepřesnosti, ale získáme řešení soustavy rovnic, jehož výsledkem je získání faktoru vodorovného zrychlení  $K_h$  [16].

Stupněm stability  $SF$  se ve výpočtu redukuje parametry zemin soudržnost  $c$  a  $tg\phi$ . S redukovanými parametry opět provedeme výpočet rovnováhy a získáme faktor vodorovného zrychlení  $K_h$  odpovídající danému stupni stability  $SF$ . Iteraci opakujeme do dosažení faktoru  $K_h$  nulové hodnoty či hodnoty zadané [16].

Sarmova metoda je použita v programu GEO5 při řešení smykových ploch v kapitole 6.

#### 4.4 Metody řešení napjatosti a deformace zemního tělesa

Obecně lze k vyšetření stavu napjatosti a přetvoření použít kteroukoliv metodu teoretické mechaniky. Základním problémem je stanovení a zavedení vztahu mezi napětím a přetvořením. K popisu tohoto chování používáme přetvárné diagramy. Volbou diagramů předurčujeme míru přesnosti řešení, tedy přiblížení se realitě. Na obr.4-15 můžeme porovnat průběhy jednotlivých typů idealizovaného chování s chováním skutečné zeminy. Vidíme tak, že např. diagram A) je značně odlišný od křivky E), proto při předpokladu pružného chování získáme velmi nepřesné výsledky. Jednou z metod, která umožňuje aplikaci složitějších diagramů deformace, je i v současnosti preferovaná metoda - metoda konečných prvků.



Obr.4-15 Přetvárné diagramy zemin [18].

Metoda konečných prvků je numerická metoda, jejímž základem je vytvoření konkrétního modelu, jenž diskretizujeme do konečného počtu prvků s parametry v jednotlivých uzlech, a v tomto prostoru simulujeme průběh deformace tělesa v závislosti na vývoji napětí. Princip spočívá v postupné úpravě materiálových charakteristik v rámci jednotlivých iterací až do okamžiku ztráty stability. U metody konečných prvků nelze najít rovnovážný stav a hledaný stupeň stability přiřazujeme na základě poměru počátečních pevnostních charakteristik a charakteristik při ztrátě stability.

S ohledem na výše uvedené k řešení úloh metodou napjatosti a deformace zemního tělesa používáme výhradně počítačové programy např. GEO5 MKP, PLAXIS či univerzální ANSYS.

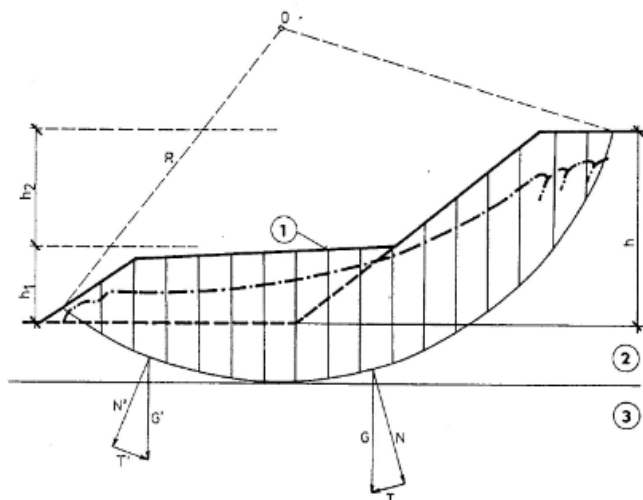
## 5 SANAČNÍ OPATŘENÍ

Účinné sanační opatření vychází ze znalosti faktorů, které svým působením ovlivňují stabilitu předmětného svahu, příčin svahového pohybu a z určení polohy a průběhu smykové plochy. Základem pro návrh sanačních prací jsou podklady získané z inženýrskogeologického, hydrogeologického a geotechnického průzkumu.

Podle principu působení rozdělujeme sanační opatření na ty, které přispívají ke snížení aktivních sil a na opatření, jenž způsobují zvýšení sil pasivních.

### 5.1 Úprava tvaru a sklonu svahu

Úprava sklonů svahu je levným a jednoduchým sanačním opatřením. Zlepšení stability svahu dosáhneme zmenšením objemu zemního tělesa ve vyšších polohách a jeho zvětšením v oblasti paty. Nevýhodou této metody je náročnost na dostatečný prostor. *Přítěžovací násypy* (obr.5-1) odvodňujeme v místě paty pomocí vhodně umístěné drenáže. *Odlehčovací výkopy* v odlučné oblasti je potřeba zřizovat tak, abychom neporušili rovnováhu vyšších částí svahu a nezapříčinili další rozšiřování sesuvu [1].



Obr.5-1 Princip sanace svahu přítěžovacím násypem.

1- přítěžovací násyp, 2 - neúnosné podloží, 3 - únosné podloží [8].

Sanační opatření v podobě zřízení přítěžovací lavice v patě svahu, aplikace izolačního přísypu výchozu měkkých glaukonitických pískovců, odstranění nestabilních bloků skalního výchozu a jeho svislého zasíťování a ukotvení (obr.5-2) bylo použito při sanaci svahu u tunelu Hřebeč, kde byl východní portál v dubnu 2006 zavalen zvětralými sutěmi skalního podloží tvořeného pískovci a opukami. Rychlý sesuvný pohyb byl zapříčiněn nasycením puklinového systému podloží vodou a zvýšením vodního tlaku na svahové uloženiny po roztátí sněhové pokrývky a vydatných dešťových srážkách [21].



Obr.5-2 Celkový pohled na sanované území - svah u portálu tunelu Hřebeč [21].

Vliv úpravy sklonu svahu a zřízení přítěžovací lavice na stabilitu svahu je ukázán v kapitole 6.

## 5.2 Odvodnění svahu

Protože voda patří k rozhodujícím faktorům při vzniku většiny svahových pohybů, patří metody založené na odvodnění svahu k rozhodujícím a nejčastěji používaným.

**Povrchové odvodnění** svahu má zamezit infiltraci dešťové vody do podloží, přítoku povrchové vody z vyšších poloh svahu a zajistit rychlé odvedení srážkových vod. *Obvodové příkopy* se budují nad odlučnou hranou svahové poruchy, aby zabránily vtoku vody z vyšších částí svahu do poruch a trhlin této oblasti. Hluboké trhliny a pukliny uložené kolmo ke směru pohybu se *utěsňují materiálem z nejbližšího okolí*, což přispívá k plynulému odtoku srážek. Infiltraci vody se dá zabránit *překrytím trhlin* či



části svahu fóliemi z umělých hmot a v mezním případě realizací *ochranných nepropustných postřiků* živice, naftou nebo speciálními chemickými látkami. Odtok vody z depresí a pramenů vyvěrajících z vodorovných odvodňovacích vrtů je zajišťován *odvodňovacími příkopy a rigoly* [8].

**Podpovrchové odvodnění** lze navrhnout až po dokončení geologického a hydrogeologického průzkumu. Tam, kde je potřeba rychle snížit hladinu podzemní vody se používají *čerpací studny*. Pro odvodnění výrazně zvodnělých horizontů větších mocností se hodí *horizontální vrt*, které mění směr proudění vody z paralelního se svahem na kolmý do vrtů a snižují účinek vztlaku. Nelze-li realizovat horizontální vrt z povrchu terénu, je vhodné zbudovat *drenážní studnu*, která má horizontální vrt vystrojené po svém obvodu. Účinným, ale nákladným sanačním opatřením je budování *odvodňovacích štol*. Po spádnicí svahu zabezpečují gravitačním působením odtok infiltrované vody *odvodňovací žebra* (nesahají pod smykovou plochu) či *stabilizační drény* (zasahují pod smykovou plochu). Na obdobném principu jako žebra fungují *drenážní štěrkové stěny* [8].

Jako příklad sanace svahu pomocí odvodnění může sloužit stabilizace svahu při výstavbě dálničního úseku D807/I Trmice - Knínice, kdy došlo v zářezu na úseku 84,410 - 84,470 km k poklesu svahu v odlučné oblasti o 0,8 až 1,8 m. Příčinou pohybu byly nepříznivé hydrogeologické poměry a jemnozrnné výsypkové zemin s velmi nízkými smykovými parametry. Jako sanační opatření byla navržena drenážní žebra v osové vzdálenosti 8 až 10 m, hloubky minimálně 3,0 m a šířky ve dně 1,0 m a drenáž při patě svahu [22].

### 5.3 Vegetační pokryv

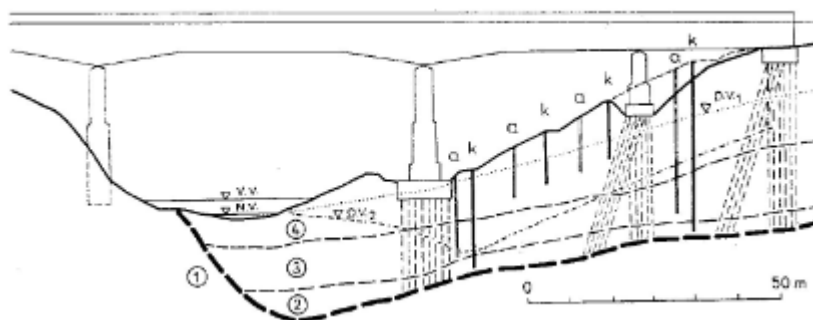
Jak již bylo uvedeno v podkapitole 3.2, porost travin a dřevin mechanicky zpevňuje a vyztužuje svým kořenovým systémem zeminu, jímáním vody svah vysušuje a zároveň působí jako protierozní ochrana. Zalesňování a zatravňování sesuvných území by mělo být součástí poslední etapy sanačních opatření a provádí se až po uklidnění sesuvu. Doporučuje se porost obnovovat postupně a udržovat ho trvale smíšený. Monokultury zejména jehličnatých stromů, které mají mělké kořeny a malý výpar, jsou do sesuvných území nevhodné [1]. Pro zatravnění čerstvě vytvořených svahů zářezů a odkopů se dnes používá *hydroosev*. Tato směs travinných semen, humusu a pojiva se

na svah nastříká tak, aby po vyklíčení a zakořenění vytvořila souvislý ochranný povlak [8].

## 5.4 Zpevňování zemin

Zpevnění málo propustných prachovitých zemin s příměsí jílovitých částechek dosáhneme při *hloubkovém odvodnění elektroosmózou*. Ke zpevnění zemin se používá injektáž cementovou maltou nebo cementovým mlékem, méně často pak metoda termického zpevňování zemin (jílů a spraší), kdy se spaluje nafta či plyn v pažených vrtech tak, aby se zemina vypálila do pevné hmoty [8].

Metoda hloubkového odvodnění elektroosmózou byla použita při stabilizaci svahu, který se sesouval při beranění pilot pro základy silničního mostu v Ontariu. Svah je tvořený ledovcově jezerními prachovitými sedimenty s vložkami písku a ojedinělými vrstvičkami jílu (obr.5-3). Po zavedení elektrického proudu došlo k poklesu hladiny vody v prachovitých, propustnějších zeminách v horní části svahu o 10 m a při patě o 13,5 m. Dále se zmenšila vlhkost zeminy o 4 % a zemina se zpevnila natolik, že výkopy pro beranidlové plošiny byly hloubeny se svahy ve sklonu 1 : 1, přičemž původní svahy se sklony 1 : 2,5 se sesouvaly [1].



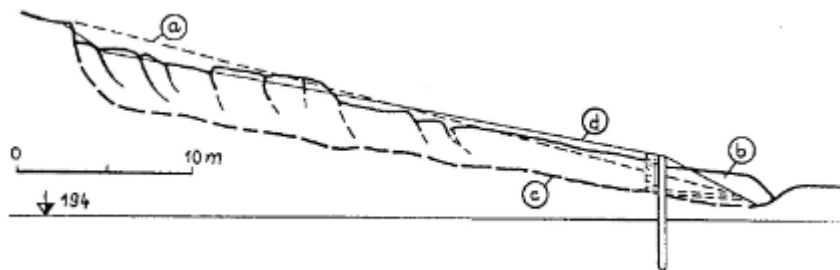
Obr.5-3 Sanace sesuvu elektroosmózou při stavbě silničního mostu v Ontariu v Kanadě (L. Casagrande a dal., 1961.).

a - anoda, k - katoda, 1 - skalní podklad, 2 - ulehlý glacifluviální písek se štěrkem, 3 - ulehlý silt s vložkami písku, 4 - nakypřené siltové sedimenty s vložkami písku, p.v.1 - hladina podzemní vody před sanací, p.v.2 - hladina podzemní vody po užití elektroosmózy [1].

## 5.5 Technická opatření

Do kategorie technických opatření řadíme zřizování ochranných galerií, podzemních a pilotových stěn, výstavbu zárubních zdí a opěrných stěn, kotvení stěn a svahů a zpevňování povrchu svahu geotextíliemi, torkrétovými omítkami či stříkaným betonem [8].

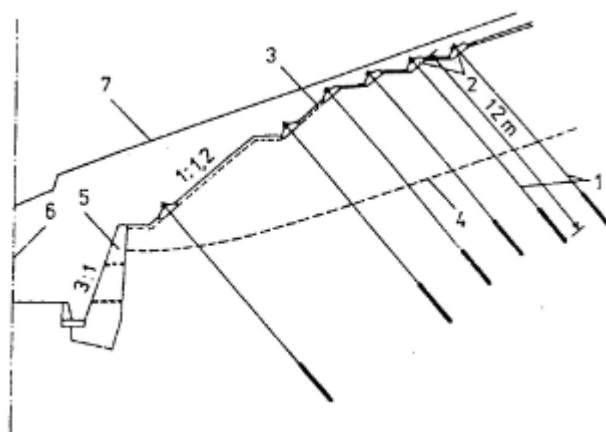
Příklad použití pilot k sanaci sesuvu je vyobrazen na obr.5-4. Při stavbě širokorozchodné trati u Nižné Myšľe vznikl na jaře roku 1965 vlivem zvýšeného množství srážek při úpatí svahu malý plošný sesuv, který se postupně rozšířil na délku 50 m. Svah je tvořen neogenními slinitými potrhanými jíly, které za vlhka bobtnají, rozbíhají a jsou náchylné k sesouvání. K sanaci bylo použito 42 pilot, 6 m dlouhých, 1-1,5 m od sebe vzdálených, za kterými byly osazeny železobetonové desky, aby nedocházelo k protlačování rozměkklých jílu mezi pilotami. Za deskami byla zřízena písčítá drenáž, odkud se voda odváděla do drenážního příkopu [1].



Obr.5-4 Sanace sesuvu u Nižné Myšľe pilotami (podle J.Nešvary).

a - svah zářezu před sesouváním, b - sesuv z roku 1965, c - průběh smykové plochy, d - upravený povrch svahu po sanaci [1].

Příkladem kombinace sanačních opatření je zajištění předzářezu Ružbašského tunelu u portálu P2, který prochází paleogenními vrstvami pískovce s polohami břidlic. Protože vrstvy jsou ukloněny do zářezu pod úhlem 20 - 30°, existovalo zde nebezpečí vzniku planárního sesuvu. Svah byl proto zabezpečen (obr.5-5) betonovou zárubní zdí, 238 kabelovými kotvami v šesti řadách a propojením kotevních desek do souvislého obkladu svahu [23].

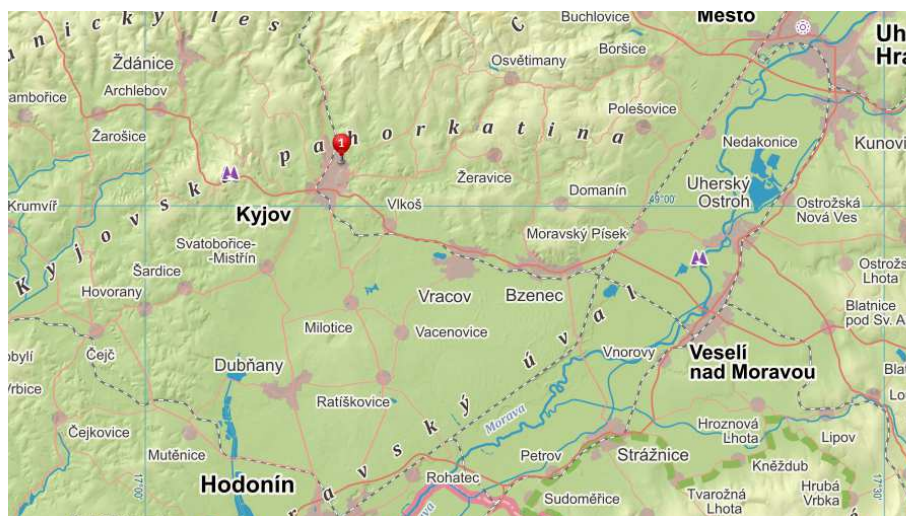


Obr.5-5 Příčný řez sanovaného předzářezu portálu P2 Ružbašského tunelu.

- 1 - kotvy, 2 - patky, 3 - ochrana svahu propojením kotevních desek,
  - 4 - předpokládaná smyková plocha, 5 - zárubní zeď, 6 - osa tratě, 7 - původní terén
- [8].

## 6 PRAKTICKÝ PŘÍKLAD

Zájmové území se nachází na území Kyjov – Netčice (obr.6-1), kde na svahu mezi ulicí Netčickou a Pod Zvonící vznikly v roce 2008 zátrhy v koruně svahu. K posouzení události použijí účelovou mapu a výškový profil, jenž vypracovala firma GEOCOMP s.r.o. Brno [24], a výstup ze zkoušek laboratoře mechaniky zemin Ústavu geotechniky VUT v Brně a chemické laboratoře GEOTESTu Brno, a.s., jenž byly součástí zprávy inženýrskogeologického průzkumu II. etapy [25].



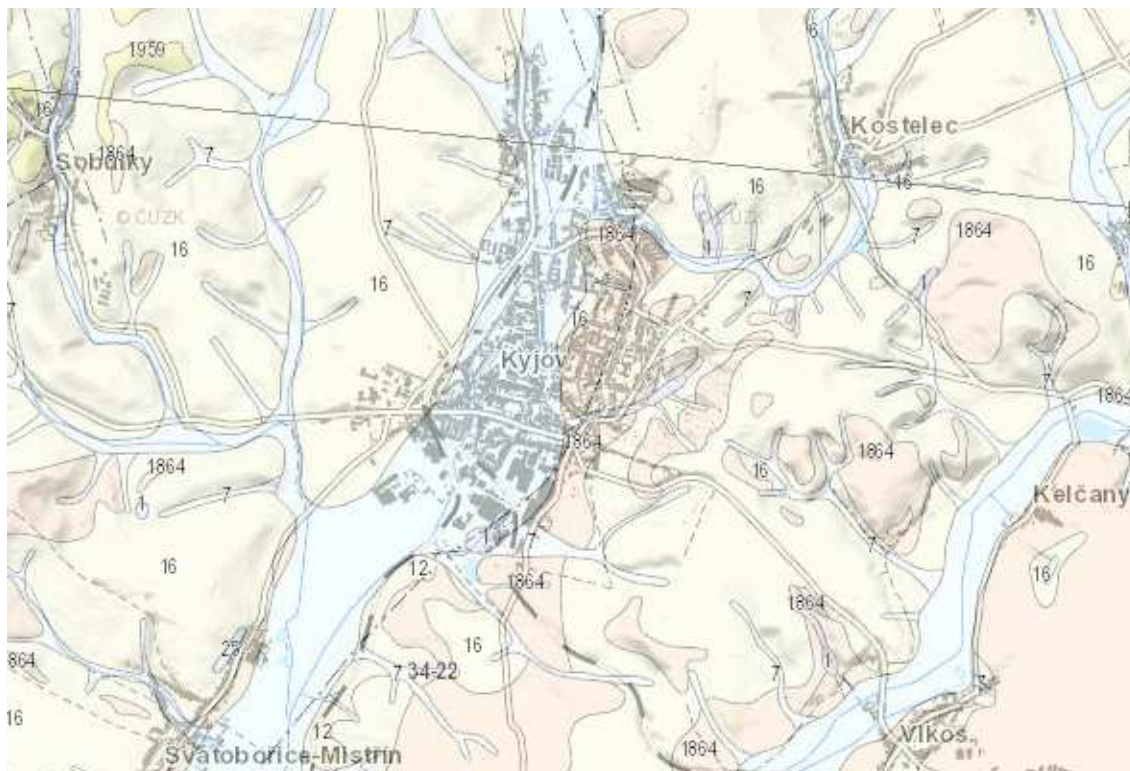
Obr.6-1 Mapa s lokalizací polohy svahového pohybu [26].

### 6.1 Geomorfologické zařazení

Území Kyjova patří z hlediska geomorfologických jednotek do provincie Západní Karpaty, subprovincie Vnější Západní Karpaty, oblasti Středomoravské Karpaty, celku Kyjovská pahorkatina.

### 6.2 Geologické a hydrogeologické poměry

Z hlediska geologických poměrů se svah nachází v soustavě Karpaty, oblasti vídeňská pánev, regionu vídeňská pánev (moravská část). Geologická stavba území je zřejmá z výseku geologické mapy ČR, listu 34-22-Hodonín na obr.6-2.



Obr.6-2 Výsek z geologické mapy ČR M 1:50 000 - list 34-22 Hodonín.

vídeňská pánev: 1864 - jíly, prachovité jíly, prachy, prachovce, písky, místy s polohami štěrků

flyšové pásmo - ždánická jednotka: 1959 - pískovec slepenec

kvartér: 16 - spraš a sprašová hlína, 7 - smíšený sediment, 1 - navážka, halda, výsypka, odval, 12 - písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment, 25 - písek, štěrk [27].

Předkvartérní podklad zájmového území tvoří sedimenty terciéru - neogénu, panonu. Hlavními horninami Vídeňské pánve jsou pelity různé barvy, písčitosti i vápnitosti s převahou písčitých (prachových) vápnitých pelitů nad jíly a písky převážně jemného zrna (prachovité písky - prašnice). Prachovité písky jemně až středně zrnité, šedožluté vystupují ve svahu až k povrchu území. Geologická stavba svahu je graficky znázorněna na geologickém řezu A - A' (obr.6-3) [25].

Hladina podzemní vody byla ověřena ve vrtu J2 v hloubce 4,2 m. Je napjatá a po naražení vystoupila o 1,3 m. Dle chemických analýz je vysoce agresivní obsahem síranů.

### 6.3 Parametry zemin

Na základě laboratorních zkoušek a doporučení doc. Ing. Antonína Paseky, CSc. byly pro výpočty použity charakteristické parametry zemin dle tab.6-1.

Výsledky laboratorních zkoušek jsou uvedeny v příloze A [25].

Tab.6-1 Charakteristické hodnoty zemin pro model v programu GEO5.

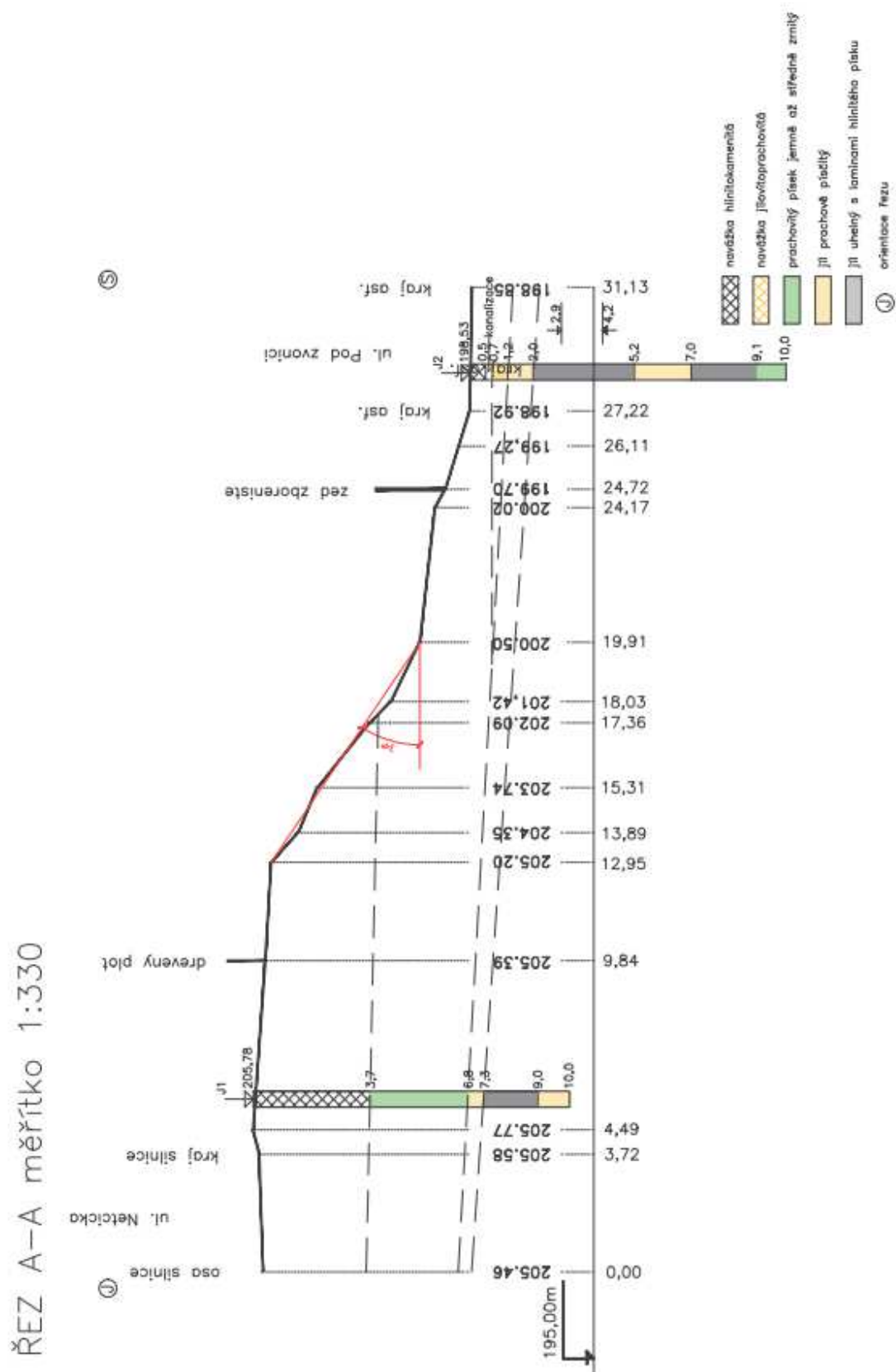
zemina	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\Phi_{ef}$ [°]	c [kPa]
navážka (I.vrstva)	16	25	0
prachovitý písek (II.vrstva)	18	34	0
jíl (III.vrstva)	18	30	20

### 6.4 Příčiny pohybu svahu v Kyjově - Netčicích a sanační opatření

Dle zjištěných skutečností lze konstatovat, že porucha svahu mezi ulicemi Nětčická a Pod zvonící v Kyjově - Netčicích vznikla v souvislosti se započítáním bouracích a odklízecích prací budovy při ulici Pod zvonící. Rodinné domy při této ulici jsou založeny tak, že zasahují do svahu na šířku přibližně 8 m od silnice a odřezávají patu svahu na výšku 2,5 m.

Dalším faktorem negativně ovlivňujícím stabilitu tohoto svahu je v minulosti v koruně svahu zbudovaný násyp mocný až 3,7 m.

Obecně platí, že stabilitu svahu výrazně snižuje přetížení jeho koruny nebo odtěžení jeho paty. V tomto případě se uplatnili oba nepřízniví činitelé, a proto je vhodné za sanační opatření zvolit úpravu sklonu svahu, případně zřídit přítěžovací lavici v místě paty.



Obr.6-3 Geologický řez svahem v Kyjově - Netčích po vzniku sesuvu [25].



## 6.5 Stabilita svahu po sesuvu

Protože svah je tvořen převážně písčítými zeminami, předpokládám vznik rovinné smykové plochy a k řešení použiji přístup uvedený v kapitole 4.3.1 Stabilita svahu - nesoudržné zeminy bez přítomnosti vody. Z řezu A - A' (obr.6-3) je patrné, že svah v rovnovážném stádiu dosáhl úhlu sklonu přibližně 34°.

Svah v rovnováze má stupeň stability  $F=1$ . Použiji-li:

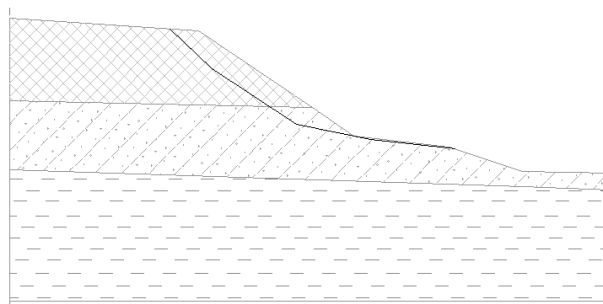
$$F = \frac{F_{pas}}{F_{akt}} = \frac{\gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef}}{\gamma \cdot \sin \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{ef}}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Úpravou získávám vzorec pro výpočet úhlu vnitřního tření, při kterém svah zaujal novou rovnovážnou polohu:

$$\operatorname{tg} \varphi_{ef} = F \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1 \cdot \operatorname{tg} 34^\circ = 0,6745 \quad \text{tedy } \varphi_{ef} = 34^\circ$$

Pro ověření stupně stability v uklidněném období byl na základě obr.6-3 vytvořen 2D model svahu v programu GEO5 (obr.6-4).

Výpočet stability je proveden pro polygonální smykovou plochu dle Sarma. Pro nejnebezpečnější smykovou plochu vychází stupeň bezpečnosti 1,06. Výpočtem podle metody mezních stavů pro návrhový přístup DA3 dostaneme hodnotu využití svahu na 117,8 %.



Obr.6-4 Kritická smyková plocha dle Sarma při sklonu svahu 34°.

Výpočtem bylo ověřeno, že svah se sklonem 34° je pro tento případ v rovnovážném stavu, a že pro nesoudržné zeminy je limitní sklon svahu určován jejich úhlem vnitřního tření. I přestože je stupeň bezpečnosti roven jedné, nemůžeme pokládat tento stav

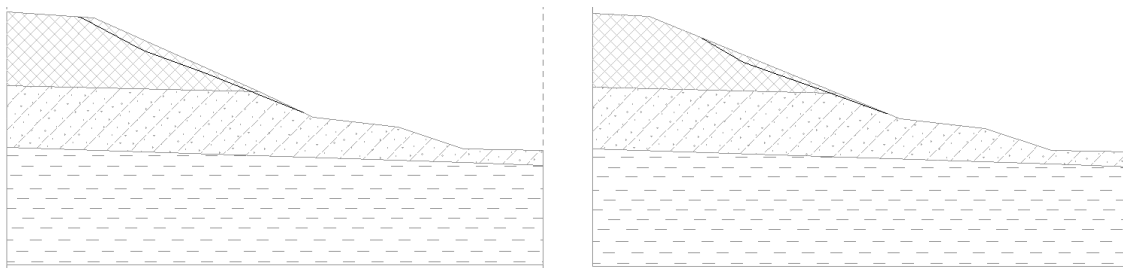
za vyhovující a na místě je přijmout taková opatření, která povedou ke zvýšení stupně bezpečnosti. Možné způsoby zvýšení stability svahu jsou řešeny v kapitolách 6.6 a 6.7.

Celý výpočet stability svahu pro stav uklidnění je součástí přílohy B.

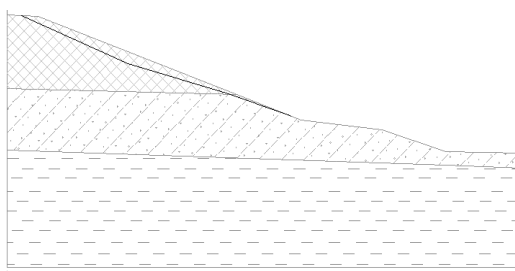
## 6.6 Vliv změny sklonu svahu

Jak bylo uvedeno v kapitole 5.1 úprava sklonu svahu je jedním z možných sanačních opatření. S ohledem na příčinu vzniku tohoto svahového pohybu změna sklonu svahu povede na zvýšení stupně bezpečnosti a mohla by tak být dostatečným opatřením zamezujícím dalšímu sesouvání.

Postupnou úpravou svahu jsem našla potřebné sklony pro dosažení konkrétního stupně bezpečnosti. Výpočtem dle Sarma byly stanoveny nejnebezpečnější smykové plochy pro stupeň bezpečnosti v hodnotě 1,1 (obr.6-5); 1,2 (obr.6-5); 1,3 (obr.6-6); 1,4 (obr.6-8) a 1,5 (obr.6-8).

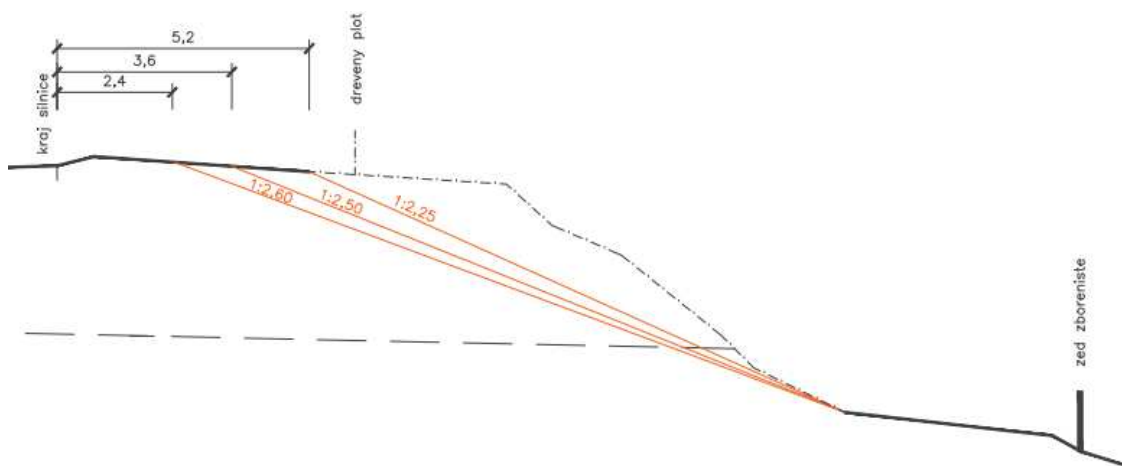


Obr.6-5 Kritické smykové plochy po úpravě sklonu svahu, vlevo  $F=1,1$ , vpravo  $F=1,2$ .

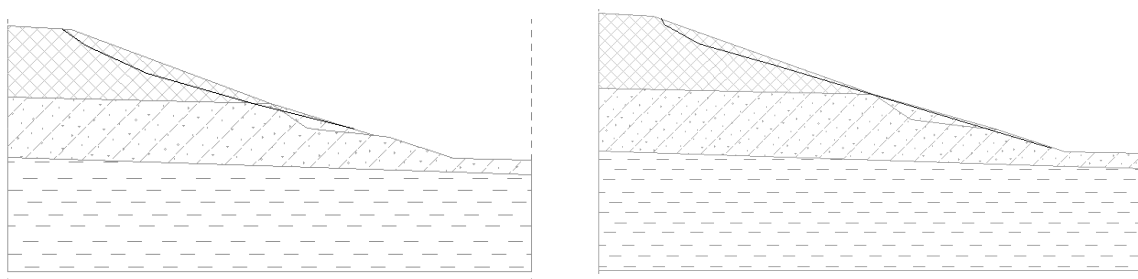


Obr.6-6 Kritická smyková plocha po úpravě sklonu svahu  $F=1,3$ .

Pro stupně bezpečnosti  $F=1,1$ ;  $F=1,2$  a  $F=1,3$  stačí změnit sklon svahu odstraněním části navážek. Na obr.6-7 je znázorněno postupné odebrání navážek vedoucí k hledaným stupňům bezpečnosti a v tab.6-2 jsou shrnuty zjištěné sklony svahu.



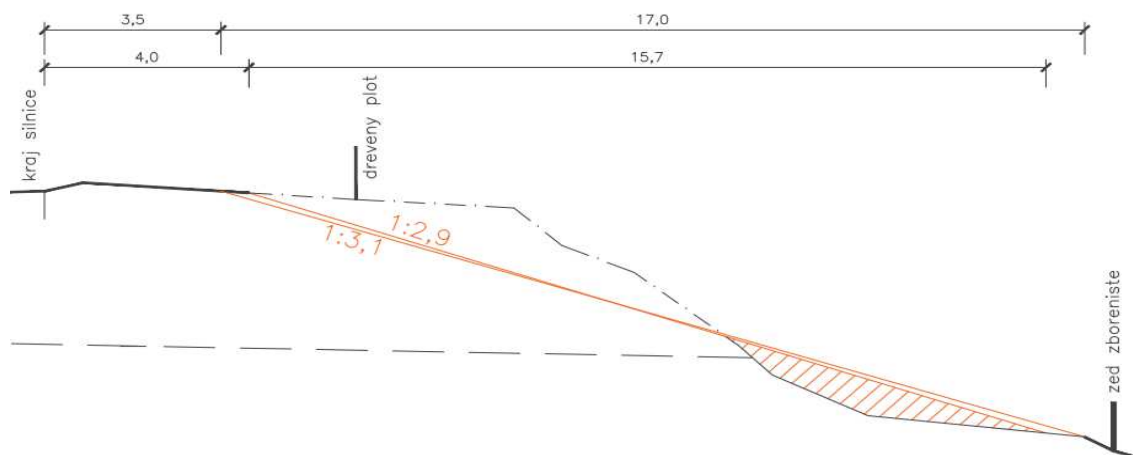
Obr.6-7 Změna sklonu svahu odebráním navážek.



Obr.6-8 Kritické smykové plochy po úpravě sklonu svahu, vlevo  $F=1,4$ , vpravo  $F=1,5$ .

K dosažení stupně bezpečnosti  $F=1,4$  a  $F=1,5$ ; za předpokladu neporušení silnice, je potřeba odstranit část navážek z horní oblasti svahu a zároveň modelovat přetížení v patě. K modelování přetížení je použit písek stejných charakteristik materiálu jako má zemina II. vrstvy (viz tab.6-1). Tato úprava je zakreslena na obr.6-9 a příslušné sklony uvedeny v tab.6-2.

Výpočty stupně bezpečnosti pro jednotlivé úpravy svahu jsou uvedeny v příloze C ( $F=1,1$ ), příloze D ( $F=1,2$ ), příloze E ( $F=1,3$ ), příloze F ( $F=1,4$ ) a příloze G ( $F=1,5$ ).



Obr.6-9 Úprava svahu odebráním navážek a přitížením paty svahu.

Tab.6-2 Nalezené sklony pro příslušné stupně stability.

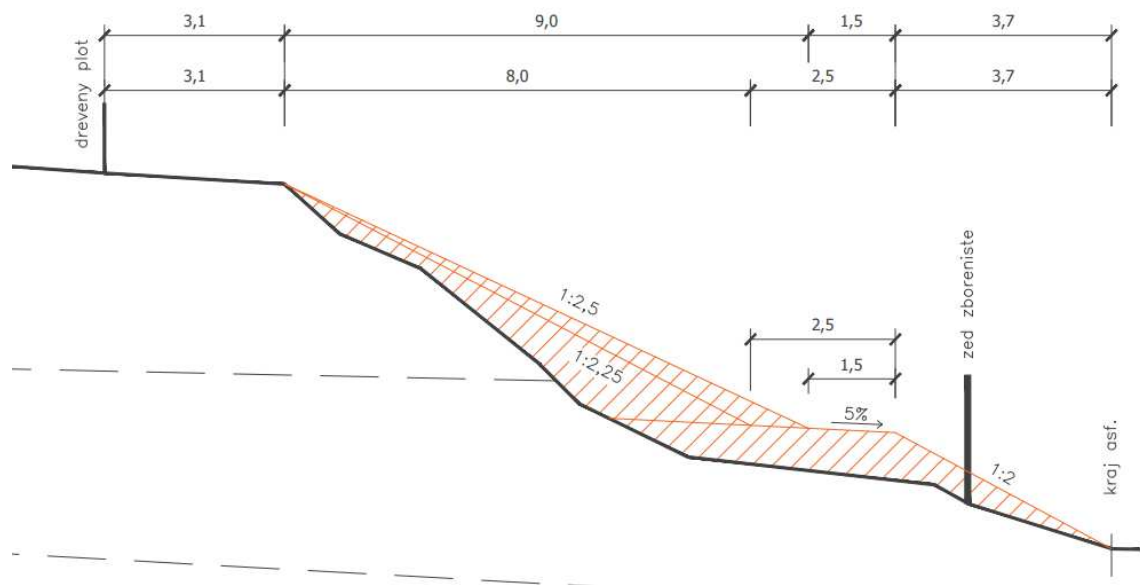
F	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
sklon	1 : 2,25	1 : 2,50	1 : 2,60	1 : 2,90	1 : 3,10

Úprava sklonu svahu je velice jednoduchá a pro svahy z nesoudržných zemin účinná metoda pro dosažení vyšší míry stability. Velkou nevýhodou této metody je její náročnost na prostor.

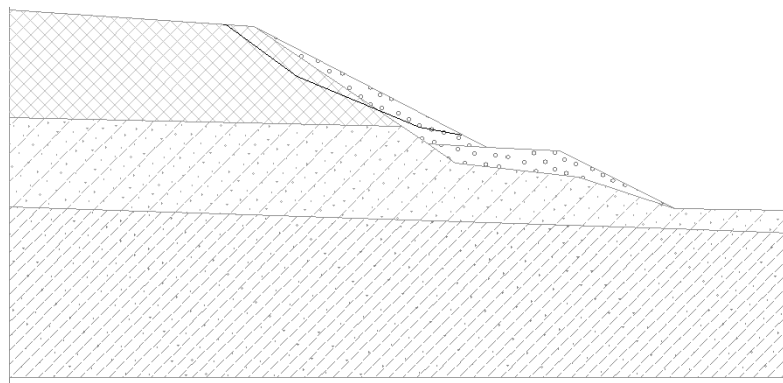
## 6.7 Zřízení přítěžovací lavice

Dalším možným způsobem sanace, jak bylo uvedeno v kapitole 5.1, je zřízení přítěžovací lavice v kombinaci s úpravou sklonu svahu. Na obr.6-10 jsou narýsovány dvě varianty. První varianta počítá s chodníkem šířky 2,5 m a druhá s chodníkem šířky 1,5 m. Přítěžovací lavice i přísyp jsou navrhovány ze štěrku dobře zrnitého, třídy G1, středně ulehlého, s úhlem vnitřního tření  $\varphi_{ef}=38,50^\circ$  a objemovou hmotností  $\gamma=21,00 \text{ kN/m}^3$ .

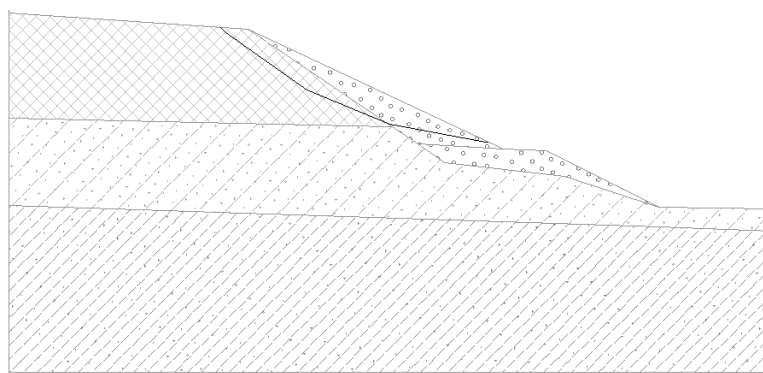
Obě varianty jsou řešeny metodou mezních stavů při použití návrhového přístupu DA3, kritická smyková plocha je počítána dle Sarma. Model vytvořený v GEO5 zachycuje pro první variantu obr.6-11 a pro variantu druhou obr.6-12.



Obr.6-10 Dvě varianty řešení přítěžovací lavicí a úpravou sklonu svahu.



Obr.6-11 Model v GEO5 - varianta I - chodník 2,5 m.



Obr.6-12 Model v GEO5 - varianta II - chodník 1,5 m.

V případě varianty I dosáhneme dle návrhového přístupu DA3 hodnotu využití 99,9 %, což je na hranici vyhovujícího řešení. Stupeň bezpečnosti je 1,25. V případě varianty II při posouzení dle návrhového přístupu DA3 získáme hodnoty využití 87,0 % a stupně bezpečnosti 1,44. Varianta II je tedy jeví jako vhodné sanační opatření svahové nestability svahu v Kyjově - Netčicích.

Výpočty provedené v programu GEO5 pro variantu I jsou v příloze H a pro variantu II v příloze I.

## 7 ZÁVĚR

Bakalářská práce s názvem „Faktory ovlivňující stabilitu svahů“ se zabývá klasifikací a dělením svahových pohybů. Popisuje jednotlivé faktory způsobující sesuvy, které dokumentuje na konkrétních příkladech. Dále uvádí způsoby výpočtu stability svahů a předkládá možná sanační opatření.

Dle provedené rešerše je zřejmé, že při současných geologických a klimatických podmínkách, je pro oblast střední Evropy nejvlivnějším faktorem ovlivňujícím stabilitu svahů voda, která i v případech, kdy není hlavním hybatelem svahových pohybů, zdárně plní úlohu druhotného činitele.

Znalosti z rešeršní části jsou využity k analýze svahové poruchy v Kyjově - Netčicích. Příčiny svahové poruchy, tedy podkopání paty svahu a přetížení koruny svahu navázkou, byly definovány na základě podkladů z inženýrskogeologického průzkumu. Úhel vnitřního tření zeminy při rovnovážném stavu svahu vypočtený dle řešení pro nesoudržné zeminy,  $\varphi_{\text{ef}}=34^\circ$ , byl potvrzen výpočtem v programu GEO5 i laboratorními zkouškami. Na sestavených 2D modelech byl ukázán vývoj stupně bezpečnosti s měnícím se sklonem svahu. Stupně bezpečnosti  $F>1,5$  v daných podmínkách svahu dosáhneme při sklonu nižším než 1 : 3,10, což odpovídá úhlu sklonu  $18^\circ$ , proto tato varianta sanačního opatření vede k řešení náročnému na prostor a je vhodná pouze v místech, kde si můžeme dovolit měnit výškové poměry v rámci rozsáhlejšího území.

Jako další možné sanační opatření bylo zvoleno a ověřeno zřízení přítěžovací lavice s přísypem ve dvou variantách. První varianta z hlediska posouzení dle mezních stavů při použití návrhového přístupu DA3 svou hraniční hodnotou využití sice vyhoví, ale byla uvedena spíše pro srovnání vývoje hodnoty využití při změně geometrie přísypu, kdy snížení sklonu přísypu z 1:2,25 na 1:2,5 vedlo ke snížení hodnoty využití o 12,9 %.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Vydání 1. Praha: Academia, 1969.
- [2] PASEKA, Antonín, JANKŮ, Hynek, ERBENOVÁ, Alexandra, BRDEČKOVÁ, Helena, HUBATKA, František, FROLKA, Josef. *Svahové pohyby*. Vydání 1. Brno: Litera Brno, 2014. ISBN 978-80-214-4954-1.
- [3] ÚSTECKÝ DENÍK.CZ. FOTOGALERIE: Sesunutý svah zničil cyklostezku u jezera Milada. Klimeš, Martin [online]. © 2005 - 2016 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z [http://ustecky.denik.cz/zpravy\\_region/20110512\\_milada\\_sesuv.html](http://ustecky.denik.cz/zpravy_region/20110512_milada_sesuv.html).
- [4] SVAHOVÉ NESTABILITY. Databáze svahových nestabilit České geologické služby List 24-41-21, kód s.n.1. Havlín, Aleš [online]. © 2007 - 2015 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z [http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=1&map=244121&cautor=229&typ\\_bod=S](http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=1&map=244121&cautor=229&typ_bod=S).
- [5] SVAHOVÉ NESTABILITY. Databáze svahových nestabilit České geologické služby List 02-32-20, kód s.n.9. Kycl, Petr [online]. © 2007 - 2015 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=9&map=02-32-20>.
- [6] MZP.CZ. Svahové nestability vzniklé po tání v r.2006 na Moravě - Příloha č. 3: Zlínský kraj - dokumentace [online]. © 2008 - 2015 [cit. 2016-5-19]. Dostupné z [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svahova\\_nestabilita\\_po\\_tani/\\$FILE/OO\\_HPP-Sesuvy\\_2006\\_Zlinsky\\_kraj-20110701.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/svahova_nestabilita_po_tani/$FILE/OO_HPP-Sesuvy_2006_Zlinsky_kraj-20110701.pdf)
- [7] NEMETON 2015. Základní pojmy: klasifikační systémy svahových pohybů [online]. [cit. 2016-1-20]. Dostupné z <http://www.zemnisesuvy.cz/cs/zakladni-pojmy/klasifikacni-systemy-svahovych-pohybu>.
- [8] MALGOT, Jozef, KOPECKÝ, Miloslav. *Inžinierska geológia a hydrogeológia*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003. Edícia skript. ISBN 80-227-1912-9.
- [9] PAŠEK, Jaroslav, MATULA, Milan a kolektiv autorů. *Inženýrská geologie I., II.* Česká matice technická, Praha, 1995.



- [10] NOVOTNÝ, Jan, STEMBERK, Josef. Problematika svahových pohybů v Rio de Janeiru a jeho okolí. *Geotechnika: Časopis pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii*. Praha: Čeněk a Ježek, 2004,4, s.14-16. ISSN 1211-913x.
- [11] ZÁRUBA, Quido, MENCL, Vojtěch. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Vydání 2, přepracované a doplněné. Praha: Academia, 1987.
- [12] NOVOTNÝ, Jan, OLÍŠAR, Petr. Zemětřesení v Číně v provincii Sichuan dne 12.5.2008. *Geotechnika: Časopis pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii*. Praha: Čeněk a Ježek, 2010, 1, s. 3-9. ISSN 1211-913x.
- [13] RYBÁŘ, Jan, NOVOSAD, Stanislav. Mapy náchylnosti k sesouvání ve flyšových horninách Západních Karpat a verifikace jejich spolehlivosti po mimořádných dešťových srážkách v květnu 2010. *Geotechnika: Časopis pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii*. Praha: Čeněk a Ježek, 2011, 4, s. 17-28. ISSN 1211-913x.
- [14] PASEKA, Antonín, kolektiv autorů. *Svahové pohyby - Příklady řešení stability svahů*. Vydání 1. Brno: Litera Brno, 2014.
- [15] NAUKA O ZEMI. Teoretická část - exogenní dynamika. Jelínek, Jan [online]. Projekt FRVŠ č. 2104/2010 [cit. 2016-4-15]. Dostupné z <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-exo-dynamika.htm#exodynam>.
- [16] FINE.CZ. GEO5 - software od firmy FINE, učební texty k softwaru a nápověda. [online]. [cit. 2016-5-20]. Dostupné z <http://www.fine.cz/podpora/>.
- [17] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. Vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-507-5.
- [18] VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin*. Vydání 3. přeprac. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01437-1
- [19] LAKEHAL, Rida, DJEMILI, Lakhdar, HOUICHI, Larbi. Nomograms for calculating the safety factor of homogeneous earth dams in long-term stability. *African journals online* [online]. 1.8.2011 [cit. 2016-5-13]. 5(9), s. 755-759. Dostupné z <http://www.ajol.info/index.php/ajest/article/view/72075/61018>.

- [20] VŠB-TU Ostrava. Mechanika hornin a zemin. [online]. [cit. 2016-4-7]. Dostupné z <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-cviko-05.pdf>.
- [21] ASB-PORTÁL. Zřícení a sanace svahu u tunelu Hřebeč. Herle, Vítězslav [online]. 2010 [cit. 2016-5-5]. Dostupné z <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/zriceni-a-sanace-svahu-u-tunelu-hrebec>.
- [22] SILNICE ŽELEZNICE. Sesuvy svahů ve výsypkách při stavbě dálnice D8 u Ústí nad Labem. Novotná, Ivonna, Záruba, Jiří [online]. © 2002 - 2016 [cit. 2016-5-7]. Dostupné z <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/sesuvy-svahu-ve-vysypkach-pri-stavbe-dalnice-d8-u-usti-nad-labem/>.
- [23] RAIL.SK. Ružbašský tunel. Kožuch, Miroslav [online]. 27.8.2001 [cit. 2016-5-7]. Dostupné z <https://www.rail.sk/skhist/tunely/185/02.htm>.
- [24] Podklady poskytnuté doc.Ing. Antonínem Pasekou, CSc. - účelová mapa a výškový profil od firmy GEOCOMP s.r.o. Brno.
- [25] Podklady poskytnuté doc.Ing. Antonínem Pasekou, CSc. - KYJOV Netčická ulice-sesuv: Inženýrskogeologický průzkum II.etapa.
- [26] SEZNAM.CZ. mapy.cz [online]. © 1996–2016 [cit. 2016-5-13]. Dostupné z <https://mapy.cz/zemepisna?vlastnibody&x=17.2098349&y=48.9874223&z=11&l=0&ut=Nov%C3%BD%20bod&uc=9nlkFxSt2w&ud=Kyjov%2C%20okres%20Hodon%C3%ADn>.
- [27] geology.cz. Mapový server ČGS. [online]. Dostupné z [http://mapy.geology.cz/geocr\\_50/](http://mapy.geology.cz/geocr_50/).

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### Celý text

Obr.           obrázek

apod.          a podobně

Tab.           tabulka

s.             strana

### Způsoby řešení stability svahu

$F_p$            pasivní síly

$F_a$            aktivní síly

ČSN EN 1997-1 norma

$DA$            návrhový přístup

$V_u$            hodnota využití

$FS$            spočítaný stupeň bezpečnosti

$X_{pas}$          obecně veličina bránící pohybu

$X_{act}$          obecně veličina způsobující pohyb

$M_a$            moment sesouvající

$M_p$            moment vzdorující

%             procento

### Smyková pevnost

$c_u$            totální soudržnost zeminy

$tg$            funkce tangens

$\varphi_u$	totální úhel vnitřního tření zeminy
$c_{ef}$	efektivní soudržnost zeminy
$\varphi_{ef}$	efektivní úhel vnitřního tření zeminy
$T_f$	vrcholová pevnost
$\sigma_f$	normálové napětí
$\varphi$	úhel vnitřního tření zeminy pro vrcholovou pevnost
$c$	soudržnost zeminy pro vrcholovou pevnost
$\tau$	smykové napětí
$T_r$	reziduální pevnost
$\varphi_r$	reziduální úhel vnitřního tření zeminy
$c_r$	reziduální soudržnost zeminy

#### **Určení stability svahů použitím nomogramů**

$\lambda$	hodnota určující křivku v grafu pro metodu dle Rodrigueze
$\alpha$	úhel sklonu svahu
$x$	souřadnice určující vodorovnou vzdálenost středu smykové plochy od paty svahu
$y$	souřadnice určující svislou vzdálenost středu smykové plochy od paty svahu
$\gamma$	objemová tíha zeminy
$h$	výška svahu
$c_d$	návrhová soudržnost zeminy
$tg$	funkce tangens

$\varphi_d$	návrhový úhel vnitřního tření zeminy
$F$	stupeň stability
$N$	součinitel pro výpočet stupně stability

#### **Metoda mezní rovnováhy**

$F$	stupeň stability
$T_{max}$	maximální smyková pevnost
$s$	mobilizovaná smyková pevnost
$c_u$	totální soudržnost zeminy
$tg$	funkce tangens
$\varphi_u$	totální úhel vnitřního tření zeminy
$c_{ef}$	efektivní soudržnost zeminy
$\varphi_{ef}$	efektivní úhel vnitřního tření zeminy
$\sigma$	normálové napětí
$u$	pórový tlak vody

#### **Stabilita svahu - nesoudržné zeminy**

$\alpha$	úhel sklonu svahu
$\gamma$	objemová tíha zeminy
$T$	tření
$N$	normálová síla
$tg$	funkce tangens
$\cos$	funkce kosinus
$\sin$	funkce sinus

$\varphi_{ef}$	efektivní úhel vnitřního tření zeminy
$\gamma_{su}$	objemová tíha zeminy pod hladinou vody
$i$	proudový tlak
$\gamma_w$	objemová tíha vody
$\varphi$	úhel vnitřního tření zeminy
$F$	stupeň stability
$\beta$	úhel, pod kterým protéká zeminou voda

#### **Felleniova metoda**

$\beta_1$	úhel odklonu pomocné přímky od svahu
$\beta_2$	úhel odklonu pomocné přímky od vodorovné roviny
$F$	stupeň stability
$\alpha$	úhel sklonu svahu
$tg$	funkce tangens
$\varphi$	úhel vnitřního tření zeminy
$O_i$	střed otáčení i-té smykové plochy

#### **Pettersonova metoda**

$b$	šířka proužku
$G_i$	vlastní tíha i-tého proužku
$N_i$	normálová složka vlastní tíhy i-tého proužku
$O$	střed smykové plochy
$T_i$	tangenciální složka vlastní tíhy i-tého proužku
$F$	stupeň stability

$M_{pas}$	moment od pasivních sil
$M_{akt}$	moment od aktivních sil
$tg$	funkce tangens
$\varphi$	úhel vnitřního tření zeminy
$c$	soudržnost zeminy
$\Delta l_i$	délka smykové plochy
$T_i$	tangenciální složka tíhy i-tého proužku
$T_{oi}$	tangenciální složka tíhy i-tého proužku v dolní části svahu, která působí proti usmyknutí

#### **Zjednodušená Bishopova metoda**

$N$	normálová síla
$u$	pórový tlak vody
$l$	délka smykové plochy proužku
$W$	vlastní tíha proužku
$X_n$	svislé síly mezi proužky
$tg$	funkce tangens
$\sin$	funkce sinus
$\cos$	funkce kosinus
$\sec$	funkce secans
$\alpha$	odklon normálové síly od svislice
$c_{ef}$	efektivní soudržnost zeminy
$F$	stupeň stability

$\varphi_{ef}$                       efektivní úhel vnitřního tření zeminy

$b$                               šířka proužku

### **Sarmova metoda**

$n$                               počet bloků

$6n-1$                         počet neznámých

$5n-1$                         počet rovnic

$n-1$                         počet neznámých k odhadu

$E_i$                             působíště sil

$K_h$                            faktor zrychlení

$SF$                            stupeň stability

$c$                               soudržnost

$\varphi$                               úhel vnitřního tření zeminy

$tg$                             funkce tangens

### **Praktický příklad**

$\gamma$                               objemová tíha zeminy

$\varphi_{ef}$                         úhel vnitřního tření zeminy

$c$                               soudržnost zeminy

$F$                               stupeň bezpečnosti

$F_{pas}$                         síly pasivní

$F_{akt}$                         síly aktivní

$\cos$                            funkce kosinus

$\sin$                            funkce sinus



$tg$	funkce tangens
$\alpha$	úhel sklonu svahu
$2D$	dva rozměry
$\%$	procento

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

- A Výsledky laboratorních zkoušek
- B Výpočet stability svahu po sesuvu v programu GEO5
- C Výpočet stability svahu pro  $F=1,1$  v programu GEO5
- D Výpočet stability svahu pro  $F=1,2$  v programu GEO5
- E Výpočet stability svahu pro  $F=1,3$  v programu GEO5
- F Výpočet stability svahu pro  $F=1,4$  v programu GEO5
- G Výpočet stability svahu pro  $F=1,5$  v programu GEO5
- H Výpočet stability svahu po zřízení přítěžovací lavice v programu GEO5  
- varianta I
- I Výpočet stability svahu po zřízení přítěžovací lavice v programu GEO5  
- varianta II

# Příloha A - Výsledky laboratorních zkoušek



## Výsledky laboratorních zkoušek

Název akce: Kyjov - Nětčická  
datum: 10.7.2009

pořadové číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
číslo vzorku	124 P	125 P	126 P	127 P	128 P	129 J	130 J	131 J	132 J	133 J
sonda	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1	J-1
hloubka [m]	3,8-4,0	5,4-5,6	5,8-6,0	6,4-6,6	7,0-7,2	7,3-7,4	8,4-8,6	8,8-9,0	9,0-9,1	9,6-9,7
vlhkost zeminy w	26,6	33,2	31,5	29,3	41,6	54,2	116,2	68,5	46,8	22,2
mez tekutosti w <sub>L</sub>	37,0		40,0		77,0		165,0	165,0	102,0	42,0
mez plasticity w <sub>p</sub>	30,0		32,4		53,6		113,8	113,6	47,1	22,5
číslo plasticity Ip	7,0		7,6		29,4		51,2	51,2	54,9	19,5
stupeň konzistence Ic	1,49		1,12		1,52		0,95	1,98	1,01	1,02
konzepte	pevná		pevná		tvrdá		tuhá	tvrdá	pevná	pevná
zařazení zeminy dle ISO	clSi		clSi		clMSa		clSa	clSa	cl	clSi
název zeminy	hlíný -dl		hlíný s podélnými vláknitými částicemi		hlíný s podélnými částicemi		hlíný plast	hlíný plast	hlíný	hlíný s jemnými částicemi
zařazení zeminy dle ČSN	F5=MI		F5=MI		F3=MS		S4=SM	S4=SM	F7=ME	F8=CI
pojmenování zeminy	Hlina s podélnými částicemi		Hlina s podélnými částicemi		Hlina s podélnými částicemi		Hlina s podélnými částicemi	Hlina s podélnými částicemi	Hlina s podélnými částicemi	Hlina s podélnými částicemi
propustnost z křiv. zrní k	1,3E-07		1,1E-07		3,2E-06		8,1E-07	1315	1617	1,3E-08
objem hmot. zeminy p										
obj. hmot. suché zeminy p <sub>s</sub>										
soudržnost EFEKTNÍ c <sub>ef</sub>										
úhel vnitřního tření ef φ <sub>ef</sub>										
		0,0								
		34,3								

# Výsledky laboratorních zkoušek

Název akce: Kyjov - Nátěčická

datum: 10.7.2009

tab. 2.2

pořadové číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
číslo vzorku	134 J	135 P	136 P	137 P	138 P	139 P	140 P	141 P	142 P	143 P
sonda	J-1	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2
hloubka [m]	10,1-10,2	1,5-1,7	2,3	2,8	3,3-3,4	3,9	4,0-4,2	5,2	5,5	5,6
vlhkost zeminy w	27,9	36,1	148,1	188,7	73,8	74,0	74,4	44,0	20,8	26,7
mez tekutosti w <sub>L</sub>		43,0	175,0	115,0	115,0	118,0	115,0	83,0		
mez plasticity w <sub>p</sub>		31,8	101,8	76,3	76,3	85,9	82,7	36,0		
číslo plasticity I <sub>p</sub>		11,1	73,2	38,7	38,7	32,1	32,3	47,0		
skupení konzistence I <sub>c</sub>		0,82	0,37	1,34	1,06	1,37	1,26	0,83		
korozivnost		tuhá	měkka	raškovitá	perná	perná	perná	tuhá		
zařazení zeminy dle ISO	14 58B	cSi	cSi	fricSi	cSi	cSi	cSi	CI		
název zeminy		slabý št	slabý št	průměrně těžký jílovitý lehký pod	slabý št	slabý št	slabý št	ji		
zařazení zeminy dle ČSN	73 1001	F5-MI	S4-SM	S4-SM	S4-SM	S4-SM	S4-SM	F8-CV		
pojmenování zeminy		Hlina se středně plochou	Písk	Písk	Písk	Písk	Písk	Jíl s velkým množství		
propustnost z hlvy zmi k	mš	4,3E-5	1,1E-05	7,7E-05	2,7E-05	1,1E-05	1,9E-05	7,8E-11		
objem. hmot. zeminy p	kg/m <sup>3</sup>	1254			1426	1358	1343	1865		
obj. hm. suché zeminy p <sub>s</sub>	kg/m <sup>3</sup>	988			820	780	770	1295		
soudržnost EFEKTIVNÍ c <sub>ef</sub>	kPa									
úhel vnitřního tření ef. φ <sub>ef</sub>	°									

# Výsledky laboratorních zkoušek

Název akce : Kyjov - Nětčická

datum : 10.7.2009

tab. č. 3

požadavek číslo		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
číslo vzorku	-	144 P	145 P	146 P	147 P	148 P	149 P	150 P			
sonda	-	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	J-2	svět			
hloubka	[m]	7,1	7,4	7,7	8,8	9,1	9,9	2/3			
vlhkost zeminy w	%	72,6	94,0	67,4	110,4	29,0	10,0	14,1			
mez tekutosti w <sub>L</sub>	%	113,0	119,0		116,0	57,5					
mez plasticity w <sub>p</sub>	%	70,2	97,3		78,9	25,0					
číslo plasticky Ip	%	42,8	21,7		37,1	32,5					
slupeň konzistence Ic	-	0,94	1,15		0,15	0,88					
konzistence		tuhá	pevná		měkka	tuhá					
zařazení zeminy dle ISO	14 688	saCl	metCl		clMSa	clMSa	MSa	IsaClSi			
název zeminy		peřil jí	střední jí		lehný silicový písek	lehný silicový písek	malé jemné stěračný písek	jemnocílejší lehný jí			
zařazení zeminy dle ČSN	73 1001	F3=MS	F3=MS		S4=SM	F4=CS	S3=S-F	F3=MS			
pojmenování zeminy		Hlina peřil	Hlina peřil		Písek lehný	Jíl peřil	Písek jemný s jem. zemí	Hlina peřil			
propustnost z křiv. zml. k	m/s	5,1E-09	3,1E-06		5,9E-06	3,7E-06	6,4E-06	1,9E-07			
objem. hmot. zeminy p	kgm <sup>3</sup>		1360		1299	1929					
obj. hmot. suché zeminy p <sub>s</sub>	kgm <sup>3</sup>		701		598	1495					
soudržnost EFEKTIVNÍ c <sub>ef</sub>	kPa							0,0			
úhel vnitřního tření φ <sub>ef</sub>	°							29,1			

## Příloha B - Výpočet stability svahu po sesuvu v programu GEO5

--

### Výpočet stability svahu

#### Vstupní data

##### Nastavení




Standardní - stupně bezpečnosti

##### Stabilitní výpočty

Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti	
Trvalá návrhová situace	
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s = 1,50 [-]$

#### Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	s	z
1		0,00	10,77	8,46	10,20	13,56	6,76
		15,42	5,50	19,88	5,02	23,00	3,92
		27,00	3,85				
2		0,00	7,07	13,43	6,76	13,56	6,76
3		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09

#### Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\sigma_{ef}$ [kPa]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00
2	F5=MI		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		30,00	20,00	18,00

--

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$n$ [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00$  kN/m<sup>3</sup>  
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00$  kPa  
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 16,00$  kN/m<sup>3</sup>

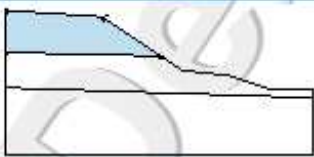
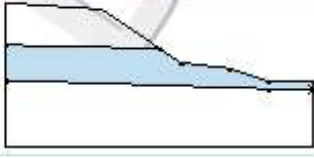
##### F5=MI

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00$  kN/m<sup>3</sup>  
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00$  kPa  
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00$  kN/m<sup>3</sup>

##### Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8


Objemová tíha :  $\gamma = 18,00$  kN/m<sup>3</sup>  
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 20,00$  kPa  
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00$  kN/m<sup>3</sup>

#### Přifažení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifažená zemina
		x	z	x	z	
1		13,56	6,76	8,46	10,20	navážka
		0,00	10,77	0,00	7,07	
2		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,88	5,02	15,42	5,50	
		13,56	6,76	0,00	7,07	
		0,00	3,97			

2

[GEO5 - Stabilita vlnhu (demoverze)] verze 5.16.16.0 (Copyright © 2013 Fina spol. s r.o. All Rights Reserved (www.fina.cz))

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přidělená zemina
		x	z	x	z	
3		23,00	-3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]							
x	z	x	z	x	z	x	z
7,21	10,28	9,09	8,50	12,86	6,01	16,20	5,34
						20,01	4,91

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,06 < 1,50

**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**



## Výpočet stability svahu

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

#### Stabilitní výpočty

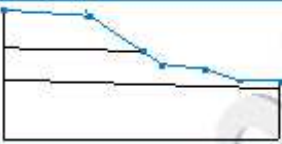


Metodika posouzení : výpočet podle EN1997

Návrhový přístup : 3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálu

Součinitele redukce zatížení (F)					
Trvalá návrhová situace					
		Stav STR		Stav GEO	
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$			1,00 [-]	

Součinitele redukce materiálu (M)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} =$	1,40 [-]	

#### Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	8,46	10,20	13,56	6,76
		15,42	5,50	19,68	5,02	23,00	3,92
		27,00	3,85				
2		0,00	7,07	13,43	6,76	13,56	6,76
3		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09




#### Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\phi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00

--

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
2	F5=MI		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		30,00	20,00	18,00

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy :  $\gamma_{sat} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

##### F5=MI

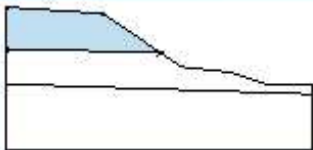
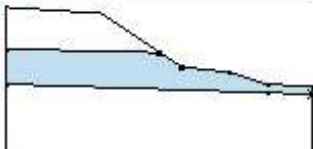

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

##### Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

2
---

# Přirazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
1		13,43	6,76	13,56	6,76	navázka
		8,46	10,20	0,00	10,77	
		0,00	7,07			
2		23,00	3,22	27,00	3,09	F5-MI
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	15,42	5,50	
		13,56	6,76	13,43	6,76	
		0,00	7,07	0,00	3,97	
3		23,00	3,22	0,00	-3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

## Voda

Typ vody : Voda není

## Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

## Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

## Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

## Výsledky (Fáze budování 1)

### Výpočet 1

### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]							
x	z	x	z	x	z	x	z
7,21	10,26	9,09	8,50	12,86	6,01	16,20	5,34
						20,01	4,91

Smyková plocha po optimalizaci

### Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 117,8 %

**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

## Příloha C - Výpočet stability svahu pro $F=1,1$ v programu GEO5

**Výpočet stability svahu**

**Vstupní data**

Nastavení




Standardní - stupně bezpečnosti

Stabilitní výpočty



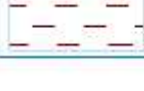
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

**Rozhraní**

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní (m)					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	-4,41	10,47	12,72	6,78
		15,42	5,50	19,68	5,02	23,00	3,92
		27,00	3,85				
2		0,00	7,07			12,72	6,78
3		0,00	3,97			23,00	3,22
						27,00	3,09

**Parametry zemin - efektivní napjatost**

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navázka		25,00	0,00	18,00
2	F3=MI		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		30,00	20,00	18,00

1

[GEO5 - Stabilita svahu udlomverzi] | verze 5.10.16.0 | Copyright © 2013 FINE spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz

--

**Parametry zemin - vztlak**

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		18,00		

**Parametry zemin**

**navážka**

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost :  $\gamma_{ef}$  = 16,00 kN/m<sup>3</sup>  
 Úhel vnitřního tření :  $\phi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

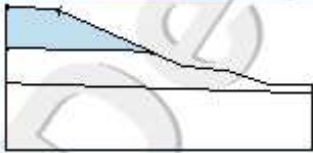
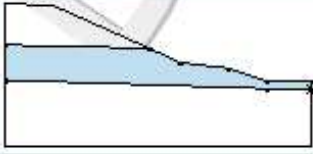
**F5=MI**

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost :  $\gamma_{ef}$  = 18,00 kN/m<sup>3</sup>  
 Úhel vnitřního tření :  $\phi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

**Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8**

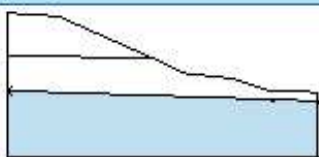
Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost :  $\gamma_{ef}$  = 18,00 kN/m<sup>3</sup>  
 Úhel vnitřního tření :  $\phi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

**Přiřazení a plochy**

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		12,72	6,78	4,41	10,47	navážka
		0,00	10,77	0,00	7,07	
2		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	15,42	5,50	
		12,72	6,78	0,00	7,07	
		0,00	3,97			

2

--

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
3		23,00	3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
3,59	10,53	3,73	10,51	6,87	8,87	10,05	7,69	14,88	5,75
14,96	5,72								

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,15 < 1,50

**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**



## Příloha D - Výpočet stability svahu pro F=1,2 v programu GEO5

### Výpočet stability svahu

#### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - stupně bezpečnosti

##### Stabilitní výpočty

Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	SF <sub>s</sub> =	1,50 [-]

#### Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	2,82	10,62	12,26	6,78
		15,42	5,50	19,68	5,02	23,00	3,92
		27,00	3,85				
2		0,00	7,07	12,00	6,79	12,26	6,78
3		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09

#### Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	θ <sub>ef</sub> [°]	c <sub>ef</sub> [kPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00
2	F5=Ml		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,6		30,00	20,00	18,00

--

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

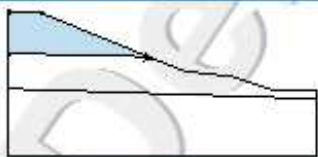

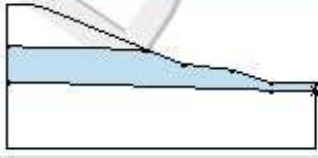

##### F5=MI

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

##### Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8

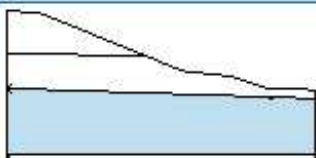
Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přifazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifazená zemina
		x	z	x	z	
1		12,00	6,79	12,26	6,78	navážka 
		2,82	10,62	0,00	10,77	
		0,00	7,07			
2		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI 
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	15,42	5,50	
		12,26	6,78	12,00	6,79	
		0,00	7,07	0,00	3,97	

2



Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přítazaná zemina
		x	z	x	z	
3		23,00	3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
5,47	9,54	7,55	8,33	11,83	6,84	14,74	5,77	14,79	5,76

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,22 < 1,50

**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

## Příloha E - Výpočet stability svahu pro $F=1,3$ v programu GEO5

**Výpočet stability svahu**

**Vstupní data**

Nastavení

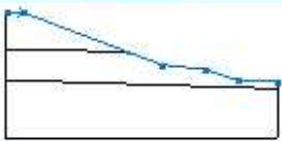


Standardní - stupně bezpečnosti

Stabilitní výpočty




Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

**Rozhraní**

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	1,64	10,71	12,05	6,77
		15,42	5,50	19,68	5,02	23,00	3,92
		27,00	3,85				
2		0,00	7,07			12,05	6,77
3		0,00	3,97			23,00	3,22
						27,00	3,09

**Parametry zemin - efektivní napjatost**

Číslo	Název	Vzorek	$\sigma_{ef}$ [kPa]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00
2	F5-MI		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		30,00	20,00	18,00

[GEO5 - Stabilita svahu (demo verze)] | verze 5.10.18.0 | Copyright © 2013 FINE spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz

--

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha:  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\phi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy:  $\gamma_{sat} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

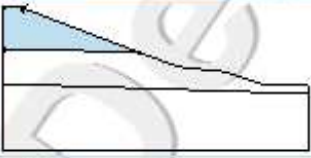
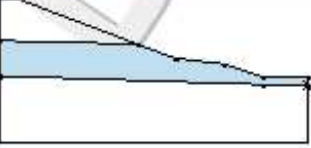
##### F5=MI

Objemová tíha:  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\phi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy:  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

##### Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8

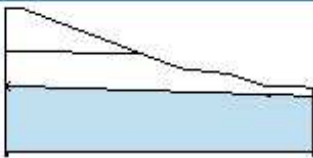
Objemová tíha:  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\phi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat zeminy:  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přifazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifazená zemina
		x	z	x	z	
1		12,05	6,77	1,64	10,71	navážka
		0,00	10,77	0,00	7,07	
2		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,88	5,02	15,42	5,50	
		12,05	6,77	0,00	7,07	
		0,00	3,97			

2

--

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifazená zemina
		x	z	x	z	
3		23,00	3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

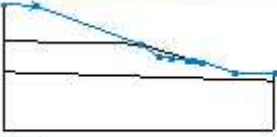

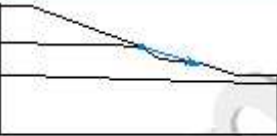
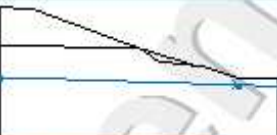


Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
0,77	10,74	6,37	8,33	11,49	6,87	14,64	5,78	14,93	5,69
Smyková plocha po optimalizaci									

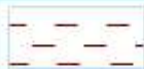
#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,31 < 1,50



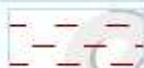
**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

## Příloha F - Výpočet stability svahu pro $F=1,4$ v programu GEO5

<b>Výpočet stability svahu</b>							
<b>Vstupní data</b>							
Nastavení							
Standardní - stupně bezpečnosti							
Stabilitní výpočty							
Metodika posouzení : - stupně bezpečnosti							
<b>Stupně bezpečnosti</b>							
<b>Trvalá návrhová situace</b>							
Stupeň bezpečnosti :		SF <sub>s</sub> =		1,50 [-]			
<b>Rozhraní</b>							
Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní (m)					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	3,25	10,58	13,56	6,76
		15,42	5,50	16,82	5,36	18,18	5,19
		18,78	5,12	18,92	5,10	19,32	5,06
		19,68	5,02	23,00	3,92	27,00	3,85
2		0,00	7,07	13,56	6,76		
3		13,56	6,76	18,58	5,21	18,92	5,10
4		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09
<b>Parametry zemin - efektivní napjatost</b>							
Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]		
1	navážka		25,00	0,00	16,00		
2	F5=MI		34,00	0,00	18,00		
1							
[GEO5 - Stabilita svahu (demo verze)   verze 5.16.18.0   Copyright © 2013 Finite slope s.r.o. All Rights Reserved   www.finite.cz]							

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{\text{ef}}$ [°]	$c_{\text{ef}}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		30,00	20,00	18,00

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$n$ [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 16,00 \text{ kN/m}^3$


##### F5=MI

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

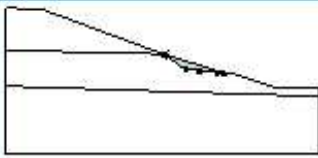

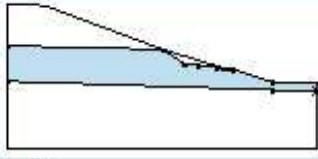

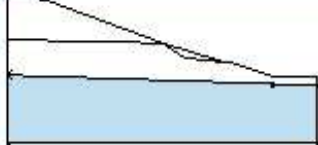
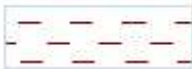
##### Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{ef}} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{ef}} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přifažení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifažená zemina
		x	z	x	z	
1		13,56	6,76	3,25	10,56	navážka
		0,00	10,77	0,00	7,07	



Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
2		18,58	5,21	13,56	6,76	F5-MI 
		15,42	5,50	16,62	5,36	
		18,18	5,19	18,76	5,12	
		18,92	5,10			
3		23,00	3,22	27,00	3,09	F5-MI 
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	19,32	5,06	
		18,92	5,10	18,76	5,12	
		18,18	5,19	16,62	5,36	
		15,42	5,50	13,56	6,76	
		0,00	7,07	0,00	3,97	
4		23,00	3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8 
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

#### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
2,83	10,60	4,05	9,75	7,15	8,31	12,77	6,70	17,72	5,47
17,88	5,43								

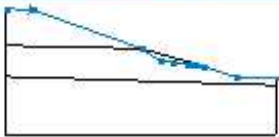





Smyková plocha po optimalizaci:

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,40 < 1,50


**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

## Příloha G - Výpočet stability svahu pro F=1,5 v programu GEO5

<b>Výpočet stability svahu</b>							
<b>Vstupní data</b>							
Nastavení							
Standardní - stupně bezpečnosti							
Stabilitní výpočty							
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti							
<b>Stupně bezpečnosti</b>							
<b>Trvalá návrhová situace</b>							
Stupeň bezpečnosti :		SF <sub>s</sub> =		1,50 [-]			
<b>Rozhraní</b>							
Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	2,70	10,63	13,56	6,76
		15,42	5,50	16,82	5,36	18,18	5,19
		18,78	5,12	18,92	5,10	19,32	5,06
		19,68	5,02	23,00	3,92	27,00	3,85
2		0,00	7,07	13,56	6,76		
3		13,56	6,76	19,68	5,02		
4		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09
<b>Parametry zemin - efektivní napjatost</b>							
Číslo	Název	Vzorek	γ <sub>ref</sub> [°]	c <sub>ef</sub> [kPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]		
1	navážka		25,00	0,00	16,00		
2	F5=Mi		34,00	0,00	18,00		
1							

[GEO5 - Stabilita svahu (demoverze)] [verze 5.16.16.0] [Copyright © 2013 Fime spol. s r.o. All Rights Reserved] [www.fime.cz]



Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{\text{ef}}$ [°]	$c_{\text{ef}}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		30,00	20,00	18,00

#### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$		18,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha:  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\varphi_{\text{ef}} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy:  $\gamma_{\text{sat}} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

##### F5=MI

Objemová tíha:  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\varphi_{\text{ef}} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy:  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

##### Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$

Objemová tíha:  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost: efektivní  
 Úhel vnitřního tření:  $\varphi_{\text{ef}} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy:  $c_{\text{ef}} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj. tíha sat. zeminy:  $\gamma_{\text{sat}} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přifazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifazená zemina
		x	z	x	z	
1		13,56	6,76	2,70	10,63	navážka
		0,00	10,77	0,00	7,07	

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
2		13,56	6,76	15,42	5,50	F5=MI 
		16,62	5,36	18,18	5,19	
		18,78	5,12	18,92	5,10	
		19,32	5,06	19,68	5,02	
3		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI 
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	19,32	5,06	
		18,92	5,10	18,78	5,12	
		18,18	5,19	16,62	5,36	
		15,42	5,50	13,56	6,76	
4		0,00	7,07	0,00	3,97	Trída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8 
		23,00	3,22	0,00	3,97	
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
3,09	10,49	3,27	10,22	4,95	9,25	8,94	8,12	21,55	4,35
22,32	4,14	22,37	4,13						


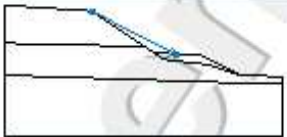

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1,51 > 1,50



Stabilita svahu **VYHOVUJE**

## Příloha H - Výpočet stability svahu po zřízení přítěžovací lavice v programu GEO5 - varianta I

<b>Výpočet stability svahu</b>							
<b>Vstupní data</b>							
Projekt							
Datum: 26.5.2016							
Nastavení							
Standardní - EN 1997 - DA3							
Stabilitní výpočty							
Metodika posouzení: výpočet podle EN1997							
Návrhový přístup: 3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálu							
<b>Součinitele redukce zatížení (F)</b>							
Trvalá návrhová situace							
		Stav STR		Stav GEO			
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé		
Stálé zatížení:	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]		
Proměnné zatížení:	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]		
Zatížení vodou:	$\gamma_w =$			1,00 [-]			
<b>Součinitele redukce materiálu (M)</b>							
Trvalá návrhová situace							
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření:				$\gamma_\phi =$	1,25 [-]		
Součinitel redukce efektivní soudržnosti:				$\gamma_c =$	1,25 [-]		
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti:				$\gamma_{cu} =$	1,40 [-]		
<b>Rozhraní</b>							
Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	8,46	10,20	13,56	6,76
		14,47	6,15	15,42	5,50	19,88	5,02
		23,00	3,92	27,00	3,85		
2		8,46	10,20	16,50	6,04		
3		0,00	7,07	13,43	6,76	13,56	6,76

1

[GEO5 - Stabilita svahu (dimenzování) | verze 5.16.16.0 | Copyright © 2013 Fina spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fina.cz]

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
4		14,47	6,15	16,50	6,04	19,00	5,92
		23,00	3,92				
5		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09

#### Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\sigma_{\text{ef}}$ [°]	$c_{\text{ef}}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00
2	F5=MI		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,6$		30,00	20,00	18,00
4	Třída G1, středně ulehlá		38,50	0,00	21,00

#### Parametry zemin - vztlači

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_e$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=MI		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,6$		18,00		
4	Třída G1, středně ulehlá		21,00		

#### Parametry zemin

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$

Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

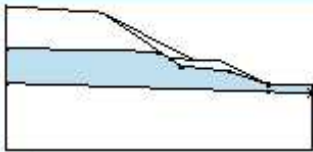

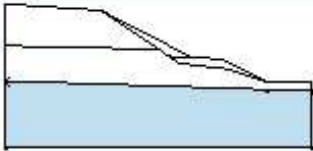

**F5=MI**  
 Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

**Třída F3, konzistence tvrdá  $S_r < 0,8$**   
 Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

**Třída G1, středně ulehlá**  
 Objemová tíha :  $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 38,50^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přífazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souradnice bodů plochy [m]				Přífazená zemina
		x	z	x	z	
1		13,43	6,76	13,56	6,76	navážka
		8,46	10,20	0,00	10,77	
		0,00	7,07			
2		16,50	6,04	8,46	10,20	Třída G1, středně ulehlá
		13,56	6,76	14,47	6,15	
3		19,00	5,92	16,50	6,04	Třída G1, středně ulehlá
		14,47	6,15	15,42	5,50	
		19,68	5,02	23,00	3,92	

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přilázaná zemina
		x	z	x	z	
4		23,00	3,22	27,00	3,09	F5=MI 
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	15,42	5,50	
		14,47	6,15	13,56	6,76	
		13,43	6,76	0,00	7,07	
		0,00	3,97			
5		23,00	3,22	0,00	3,97	Trída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8 
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
7,39	10,27	7,49	10,26	9,64	8,48	14,17	6,74	15,47	6,48
15,66	6,47								

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 99,9 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**



# **Příloha I - Výpočet stability svahu po zřízení přítěžovací lavice v programu GEO5 - varianta II**

## **Výpočet stability svahu**

### **Vstupní data**

#### **Projekt**

Datum : 26.5.2016

#### **Nastavení**

Standardní - EN 1997 - DA3

#### **Stabilitní výpočty**


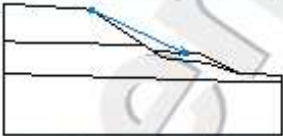
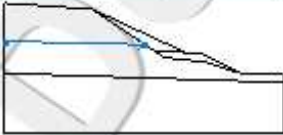
Metodika posouzení : výpočet podle EN1997

Návrhový přístup : 3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálu

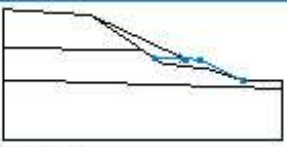
Součinitele redukce zatížení (F)					
Trvalá návrhová situace					
		Stav STR		Stav GEO	
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$			1,00 [-]	

Součinitele redukce materiálu (M)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} =$	1,40 [-]	

### **Rozhraní**

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní (m)					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,77	8,46	10,20	13,56	6,76
		14,47	6,15	15,42	5,50	19,68	5,02
		23,00	3,92	27,00	3,85		
2		8,46	10,20	17,50	5,99		
3		0,00	7,07	13,43	6,76	13,56	6,76

--

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
4		14,47	6,15	17,50	5,99	19,00	5,92
		23,00	3,92				
5		0,00	3,97	23,00	3,22	27,00	3,09

#### Parametry zemín - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\phi_{int}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	navážka		25,00	0,00	16,00
2	F5=Mi		34,00	0,00	18,00
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,6$		30,00	20,00	18,00
4	Třída G1, středně ulehčá		38,50	0,00	21,00

#### Parametry zemín - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\lambda_{est}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	navážka		16,00		
2	F5=Mi		18,00		
3	Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,6$		18,00		
4	Třída G1, středně ulehčá		21,00		

#### Parametry zemín

##### navážka

Objemová tíha :  $\gamma = 16,00 \text{ kN/m}^3$



Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 16,00 \text{ kN/m}^3$

#### F5=MI

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

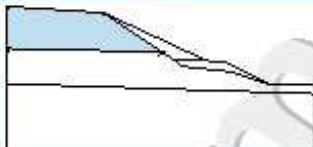
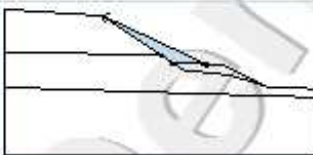

#### Třída F3, konzistence tvrdá $S_r < 0,8$

Objemová tíha :  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

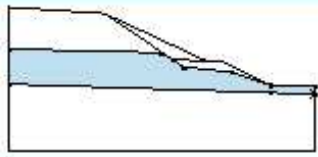
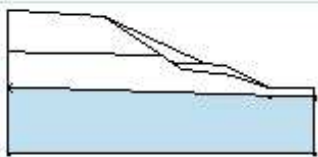
#### Třída G1, středně ulehlá

Objemová tíha :  $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$   
 Napjatost : efektivní  
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 38,50^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

#### Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		13,43	6,76	13,56	6,76	navázka
		8,46	10,20	0,00	10,77	
		0,00	7,07			
2		17,50	5,99	8,46	10,20	Třída G1, středně ulehlá
		13,56	6,76	14,47	6,15	
3		19,00	5,92	17,50	5,99	Třída G1, středně ulehlá
		14,47	6,15	15,42	5,50	
		19,68	5,02	23,00	3,92	

--	--

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přifažená zemina
		x	z	x	z	
4		23,00	3,22	27,00	3,09	FS=MI
		27,00	3,85	23,00	3,92	
		19,68	5,02	15,42	5,50	
		14,47	6,15	13,56	6,76	
		13,43	6,76	0,00	7,07	
		0,00	3,97			
5		23,00	3,22	0,00	3,97	Třída F3, konzistence tvrdá Sr < 0,8
		0,00	-1,91	27,00	-1,91	
		27,00	3,09			

#### Voda

Typ vody : Voda není

#### Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

#### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

#### Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

#### Výsledky (Fáze budování 1)

##### Výpočet 1

##### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
7,50	10,26	7,67	10,09	10,53	8,06	13,49	6,85	16,87	6,22
16,96	6,23								

Smyková plocha po optimalizaci

#### Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 87,0 %

Stabilita svahu VYHOVUJE

4
---

[GEO5 - Stabilita svahu (demo verze) | verze 5.10.18.0 | Copyright © 2013 Fime spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fime.cz]